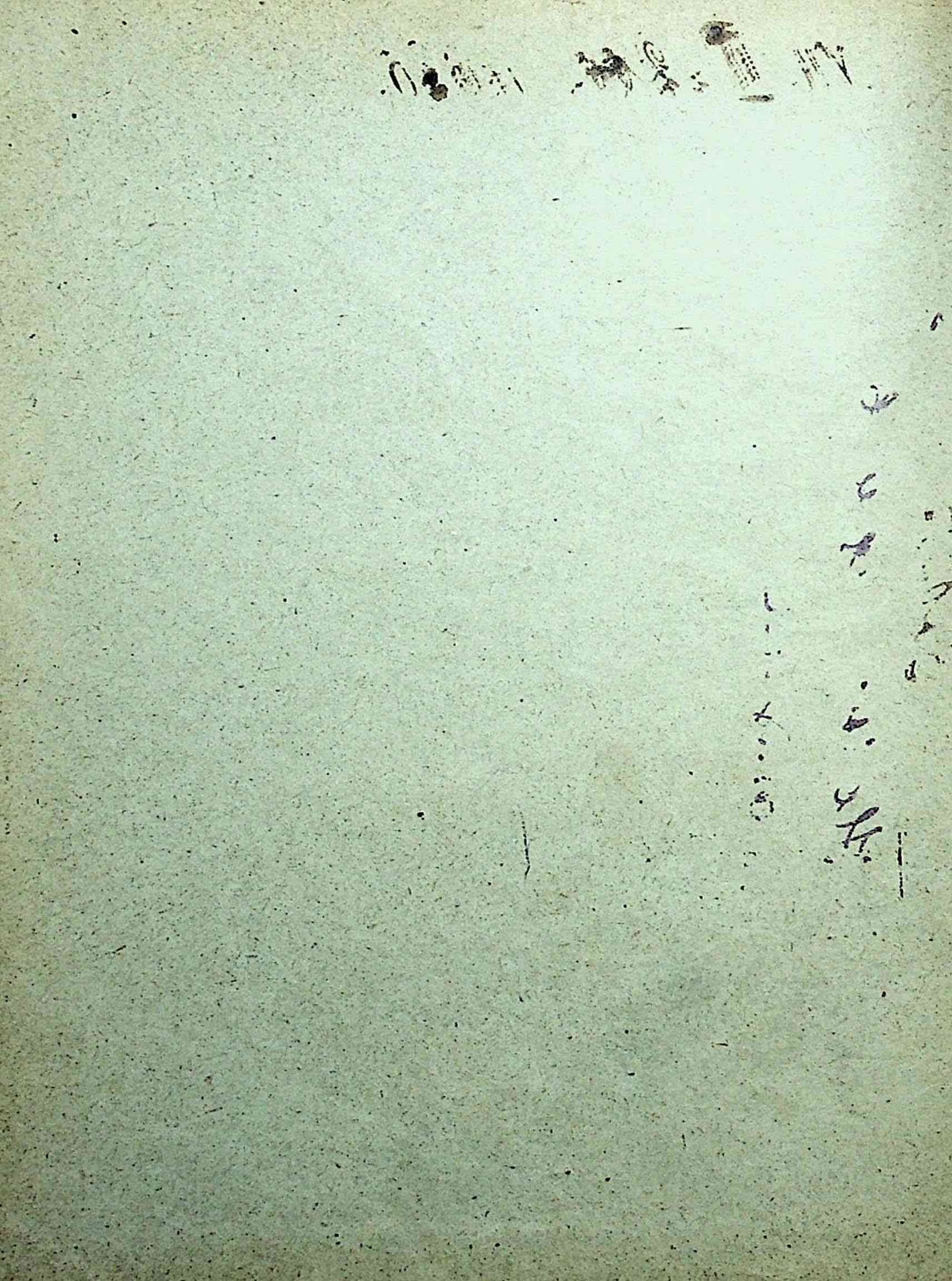

330.1
Н76
36035

Переплетная
Сарры Лившицъ
Гоголевская 44
Екатеринославъ

5 книг — 100 руб.

59/3082 1332
Кр. 100 =
5 кн.



VII. II. 206. 11030.

530.1
Н-76

539.18/.19
539.19

НОВЫЯ ИДЕИ ВЪ ФИЗИКѢ.

Непеpiодическое изданiе, выходящее подъ редакцiей заслуженнаго профессора И. И. Боргмана.

СБОРНИКЪ № 1.

СТРОЕНIЕ ВЕЩЕСТВА.

Второе дополненное изданiе.

Дніпропетровська Об... БІБЛІОТЕКА

Книжный магазинъ ... Екатеринославъ


Изд-ство „ОБРАЗОВАНIЕ" СПБ.
1912.



Типо-Литографія „Энергія“, Спб. Загородный, 17.

Изданіе сборниковъ **„Новыя идеи въ физикѣ“** имѣетъ цѣлью ознакомленіе читателей съ различными современными воззрѣніями по наиболѣе важнымъ вопросамъ въ физикѣ. Каждый отдѣльный выпускъ будетъ посвященъ выясненію одного или двухъ вопросовъ и будетъ заключать въ себѣ статьи, въ которыхъ авторы разсматриваютъ эти вопросы съ различныхъ точекъ зрѣнія.

Настоящій, первый выпускъ составленъ изъ статей, касающихся основанія нашихъ знаній о явленіяхъ природы—**ученія о строеніи вещества.**

И. Боргманъ.

Ко второму изданію.

Въ настоящемъ изданіи этого сборника, съ цѣлью пополнить гипотетическую картину строенія атомовъ, помѣщены статьи Лорда Кельвина, имѣющія историческій интересъ и заключающія въ себѣ оригинальныя соображенія о возможной структурѣ атомовъ.

И. Боргманъ.

22 Апрѣля
1912.

Оглавленіе:

Ж. Перренъ.

Броуновское движеніе и молекулы[1]).

I.

1. Когда мы наблюдаемъ жидкость, находящуюся въ равновѣсіи, — напримѣръ воду въ стаканѣ, — то всѣ части этой жидкости кажутся намъ совершенно неподвижными. Если мы помѣстимъ въ жидкость болѣе плотный предметъ, то этотъ предметъ, если онъ—сферическій, опускается въ ней по вертикальному направленію и въ концѣ концовъ всегда достигаетъ дна сосуда. Наконецъ, мы знаемъ, что когда этотъ предметъ, находится на днѣ сосуда, онъ уже не поднимается; это явленіе можетъ служить даже наглядною иллюстраціею принципа Карно (*невозможность perpetuum mobile второго рода*).

Эти, столь знакомыя намъ, понятія пригодны, однако, лишь для величинъ того масштаба, къ какому привыкъ нашъ организмъ; въ самомъ дѣлѣ, достаточно наблюдать при помощи микроскопа маленькія частицы, находящіяся въ какой-нибудь жидкости, чтобы замѣтить слѣдующее: каждая изъ этихъ частицъ, вмѣсто того, чтобы пріобрѣсти, въ соотвѣтствіи со своей плотностью, пра-

---

1) Докладъ, прочитанный во „Французскомъ физическомъ обществѣ“ 15 апрѣля 1909 г.

вильное движенiе, паденiя или подъема, оказывается, напротивъ, вовлеченной въ совершенно неправильное движенiе. Она движется взадъ и впередъ, останавливается, опять отправляется въ путь, *поднимается*, опускается, *снова поднимается* и отнюдь не стремится притти въ неподвижное состоянiе.

Такому движенiю дано названiе *Броуновское движенiе*; это названiе дано въ честь естествоиспытателя Броуна, который замѣтилъ его еще въ 1827 году и убѣдился, что взвѣшенныя внутри жидкости части движутся тѣмъ оживленнѣе, чѣмъ онѣ меньше.

Возможно показать это явленiе объективно, хотя проэктировать его на экранѣ вообще трудно. Полезно дать указанiя на тѣ предосторожности, которыя позволяютъ получить наилучшiй результатъ. Внутри взятой для наблюденiя жидкости проектируютъ изображенiе электрической дуги (или, лучше, солнца), задерживая при этомъ при помощи водяной ванны весьма значительную часть темныхъ тепловыхъ лучей. Лучи, отраженные взвѣшенными частицами, проходятъ, какъ при прямомъ наблюденiи, черезъ иммерзiонный объективъ и сильно увеличивающiй окуляръ и затѣмъ приводятся къ горизонтальному направленiю призмой съ полнымъ внутреннимъ отраженiемъ такъ, чтобы дать изображенiе зеренъ на экранѣ изъ матоваго стекла, по другую сторону котораго находятся зрители; экранъ предпочтительнѣе разлинованный клѣтками, чтобы на немъ были замѣтные для глаза пункты. При употребленiи прозрачнаго матоваго экрана свѣтъ использовывается лучше, чѣмъ при обыкновенномъ разсѣивающемъ экранѣ, такъ какъ при такомъ экранѣ значительная часть свѣта направляется туда, гдѣ нѣтъ ни одного зрителя. Линейное увеличенiе микроскопа можетъ быть доведено до 10.000.

Но самую большую важность представляетъ выборъ

подходящей для опыта эмульсіи. Въ тѣхъ немногихъ попыткахъ проектированія, какія дѣлались до сихъ поръ, діаметръ зеренъ былъ по величинѣ порядка одного микрона, и изображенія такихъ зеренъ оказывались съ трудомъ доступными для воспріятія на разстояніи, превышающемъ 3 метра (по крайней мѣрѣ, при свѣтѣ дуги). Менѣе крупныя зерна видны еще хуже, и остается прійти къ выводу, что лучше проектировать крупныя зерна, а не мелкія. Правда, у первыхъ движеніе слабѣе, но оно все-таки еще вполнѣ достаточно для того, чтобы можно было различить существенныя черты явленія.

Нужно, стало быть, умѣть приготовить частицы съ діаметромъ и въ нѣсколько микроновъ; это желательно равнымъ образомъ и въ цѣляхъ собственно экспериментальнаго изученія Броуновскаго движенія. Я изложу какимъ путемъ мнѣ удалось получить крупныя сферическія зерна гуммигута и мастики. При такихъ зернахъ въ большой залѣ, въ которую тщательно прегражденъ доступъ посторонняго свѣта, можно замѣтить Броуновское движеніе даже на разстояніи 8 или 10 метровъ отъ экрана.

(2) Въ первое время это замѣчательное движеніе обращало на себя мало вниманія. Кромѣ того, оно долго оставалось неизвѣстнымъ большинству физиковъ, и можно предполагать, что тѣ, кто слыхалъ о немъ, считали его аналогичнымъ движенію пылинокъ, которыя мы видимъ кружащимися въ лучахъ солнца подъ дѣйствіемъ слабыхъ теченій воздуха, вызываемыхъ небольшими различіями въ упругости и температурѣ.

Трудно установить съ точностью, какъ появилась впервые и какъ развилась гипотеза, которая основу Броуновскаго движенія видитъ въ движеніи молекулъ. Первое имя, которое можно назвать, говоря объ этомъ, есть, быть можетъ, имя Винера. Этотъ ученый угадалъ почти на первыхъ порахъ развитія кинетической теоріи

теплоты, что молекулярныя движенія могли бы дать объясненіе занимающаго насъ здѣсь явленія (1863 г.).

Спустя нѣкоторое время (около 1880 г.) братья Дельсо, Карбонель и Тиріонъ, напечатали нѣсколько замѣтокъ о „Термодинамическомъ происхожденіи Броуновскихъ движеній“. Въ этихъ замѣткахъ встрѣчаются весьма замѣчательныя указанія. „Въ случаѣ поверхности, обладающей достаточнымъ размѣромъ,—говорятъ эти авторы,—молекулярныя столкновенія, причина давленія, не производятъ никакихъ колебаній взвѣшеннаго тѣльца, такъ какъ въ совокупности такіе удары одинаково толкаютъ это тѣльце по всѣмъ направленіямъ. Но если поверхность не настолько велика, чтобы быть въ состояніи обезпечить уравновѣшеніе всѣхъ неправильностей, то необходимо будетъ допустить существованіе давленій, не равныхъ и непрерывно измѣняющихся отъ одного мѣста къ другому; давленія эти законъ большихъ чиселъ уже не приводитъ болѣе къ однообразію, и равнодѣйствующая ихъ уже не будетъ равняться нулю, но будетъ постоянно мѣняться и по своей напряженности, и по своему направленію. Далѣе, неравенства будутъ становиться все болѣе и болѣе замѣтными по мѣрѣ того, какъ мы будемъ брать все меньшее и меньшее тѣло, и въ то же время колебанія его будутъ становиться все болѣе и болѣе рѣзкими“...

Къ сожалѣнію, эти мысли остались мало извѣстными. Кажется, что онѣ и не сопровождались какими-либо опытными данными, достаточными для подтвержденія того, до извѣстной степени поверхностнаго объясненія, которое было только-что приведено. Вслѣдствіе этого, предложенная теорія не завоевывала себѣ признанія у тѣхъ, кому она могла быть извѣстна.

Совершенно обратно работы *Гуи* (1888 г.) доказали не только то, что гипотеза движенія молекулъ давала для Броуновскаго движенія пріемлемое объясненіе, но

еще и то, что нельзя было бы вообразить себѣ какую-либо другую причину этого движенія. Блестящія изслѣдованія Гуи тотчасъ же пріобрѣли широкую извѣстность, и только съ этого времени Броуновское движеніе заняло мѣсто среди важныхъ вопросовъ общей физики.

Во-первыхъ, Гуи установилъ, что Броуновское движеніе не обусловлено сотрясеніями, получаемыми жидкостью, ибо, напримѣръ, ночью и въ деревенской тиши оно наблюдается такъ же хорошо, какъ и днемъ вблизи людной улицы, по которой проѣзжають тяжелые экипажи. Это движеніе не обусловлено также и конвекціонными токами, возникающими въ жидкостяхъ при отсутствіи термическаго равновѣсія, ибо оно не мѣняется замѣтно и тогда, когда наблюдатель потратитъ множество усилій, чтобы добиться такого равновѣсія. Такимъ образомъ, нужно отказаться отъ всякихъ сравненій между Броуновскимъ движеніемъ и движеніемъ пылинокъ, толкущихся въ солнечныхъ лучахъ. Именно въ этомъ послѣднемъ случаѣ легко видѣть, что сосѣднія пылинки, въ общемъ, движутся въ одномъ направленіи, намѣчая грубо общую форму увлекающаго ихъ потока, и напротивъ, одной изъ самыхъ яркихъ особенностей Броуновскаго движенія является абсолютная независимость перемѣщеній двухъ сосѣднихъ частицъ, какъ-бы близко ни проходили онѣ одна возлѣ другой. Наконецъ, нельзя заподозрить здѣсь и неизбѣжное освѣщеніе препарата, ибо Гуи удавалось сразу уменьшать освѣщеніе въ тысячу разъ, ничуть не измѣняя этимъ наблюдаемаго явленія. Всѣ другія причины, какія можно было послѣдовательно предположить здѣсь, производили такъ же мало дѣйствія; казалось, что и самая природа частицъ не имѣетъ никакого значенія, а отсюда не трудно было прійти къ заключенію, что частицы служатъ только указателемъ внутреннихъ движеній въ

жидкости и дѣлаютъ это тѣмъ лучше, чѣмъ онѣ—мельче, вѣдь, и пробка лучше, чѣмъ большое судно, слѣдуетъ за движеніями морскихъ волнъ.

Такимъ образомъ, здѣсь проявляется основное, вѣчное свойство того, что мы называемъ жидкостью въ состояніи ея равновѣсія. Такое равновѣсіе существуетъ только, какъ нѣчто среднее, и лишъ для большихъ массъ; это—равновѣсіе статистическое. Въ дѣйствительности вся жидкость непрерывно и вполнѣ неопредѣленно возмущается движеніями, тѣмъ болѣе интенсивными, чѣмъ меньше тѣ части жидкости, которыя захватываются этими движеніями. Такимъ образомъ, идея статистическаго равновѣсія жидкости вполнѣ иллюзорна.

3. Итакъ, здѣсь передъ нами движеніе, которое продолжается неопредѣленно безъ внѣшней причины. Ясно, что это движеніе не стоитъ въ противорѣчіи съ принципомъ сохраненія энергіи. Достаточно, чтобы всякое приращеніе скорости зерна сопровождалось охлажденіемъ жидкости въ непосредственной близости къ этому зерну, и равнымъ образомъ, всякое уменьшеніе скорости сопровождалось мѣстнымъ нагрѣваніемъ; мы приходимъ къ заключенію, что *и термическое равновѣсіе, въ свою очередь, есть лишъ равновѣсіе статистическое*. Но слѣдуетъ замѣтить,—и эта крайне важная идея принадлежитъ также Гуи,—что Броуновское движеніе не можетъ быть согласовано съ тѣми очень опредѣленными формулировками, какія слишкомъ часто даютъ **принципу Карно**. Напримѣръ, достаточно прослѣдить въ водѣ, находящейся въ термическомъ равновѣсіи, за частицею, болѣе плотною, чѣмъ вода, и мы увидимъ, что въ извѣстные моменты эта частица самопроизвольно поднимается, преобразовывая такимъ путемъ въ работу часть теплоты окружающей среды. Значитъ, нельзя уже говорить, perpetuum mobile второго рода—невозможно, а надо сказать: *„Въ предѣлахъ тѣхъ величинъ, какія представляютъ для насъ интересъ практически, perpetuum mobile*

второго рода, въ общемъ, настолько незначительно, что было бы неразумно принимать его во вниманіе". Впрочемъ, подобныя ограниченія уже давно были предложены, и я напомню того „демона", котораго создала фантазія Максвеля, и который, будучи достаточно ловкимъ, чтобы успѣвать схватывать отдѣльныя молекулы, заставляетъ по произволу теплоту переходить, безъ работы, изъ области холодной въ область теплую. Однако, до тѣхъ поръ, пока ограничились лишь участіемъ невидимыхъ молекулъ, было невозможно, при отрицаніи существованія такихъ молекулъ, вѣрить въ совершенную непреложность принципа Карно. Такая вѣра являлась бы уже неразумной теперь, когда эта непреложность оказывается въ противорѣчіи съ *ощутимой дѣйствительностью*. Впрочемъ, практическая важность принципа Карно этимъ не поколеблена, и, думаю, мнѣ нѣтъ нужды увѣрять, что было бы неблагоразумно разсчитывать на Броуновское движеніе въ цѣляхъ поднятія камней, предназначенныхъ для постройки дома.

4. Вернемся къ молекулярной гипотезѣ. Какъ извѣстно, допущеніе этой гипотезы тотчасъ же заставляетъ, въ виду различныхъ соображеній изъ области химіи и, въ особенности, въ виду явленій замѣщенія признать и существованіе атомовъ. Когда, напримѣръ, мы растворяемъ въ водѣ кальцій, то мы выгоняемъ только половину того водорода, который содержитъ вода. Водородъ этой воды, стало быть, и водородъ каждой молекулы состоитъ, слѣдовательно, изъ двухъ различныхъ частей. Ни одинъ опытъ не приводитъ къ различенію большаго числа частей, и потому есть основаніе думать, что обѣ эти части не могутъ быть разсѣчены никакими химическими средствами, что онѣ, однимъ словомъ, суть *атомы*. Съ другой стороны, всякая масса воды, а слѣдовательно, и всякая молекула воды вѣситъ въ 9 разъ больше, чѣмъ содержимый ею водородъ; мо-

лекула воды, содержащая 2 атома водорода, вѣситъ, значитъ, въ 18 разъ больше, чѣмъ атомъ водорода. Подобнымъ же образомъ можно установить, напримѣръ, что молекула метана вѣситъ въ 16 разъ больше, чѣмъ тотъ же атомъ водорода. Такъ, идя чисто химическимъ путемъ и пользуясь понятіемъ атома, можно получить отношеніе вѣса молекулы метана къ вѣсу молекулы воды, какъ 16 : 18.

Между тѣмъ, это отношеніе 16 : 18 есть какъ разъ отношеніе массы метана и массы паровъ воды, когда обѣ эти массы занимаютъ въ газообразномъ состояніи одинаковые объемы при одинаковыхъ условіяхъ температуры и давленія. Такъ какъ и масса метана, и масса паровъ воды находятся въ томъ же отношеніи, что и молекулы обоихъ тѣлъ, то, очевидно, обѣ содержатъ одинаковое число молекулъ. Этотъ результатъ получаетъ общее значеніе для различныхъ газовъ, и такимъ образомъ мы экспериментальнымъ путемъ находимъ знаменитую гипотезу, высказанную около вѣка назадъ Авогадро и немного позднѣе снова выдвинутую Амперомъ:

„Два какихъ-либо газа, взятые въ одинаковыхъ условіяхъ температуры и давленія, содержатъ въ одинаковомъ объемѣ одно и то же число молекулъ“.

Массу какого-либо тѣла, которая въ газообразномъ состояніи занимаетъ тотъ же объемъ, что и два грамма водорода, взятые при тѣхъ же температурѣ и давленіи,—называютъ граммъ-молекулою этого тѣла. Значитъ, законъ Авогадро равносиленъ слѣдующему положенію:

Двѣ какія либо граммъ-молекулы содержатъ одинаковое число молекулъ.

Это неизмѣнное число N является универсальной постоянной, которую, мнѣ кажется, справедливо назвать **постоянной Авогадро**. Если бы эта постоянная была извѣстна, то были бы извѣстны масса любой молекулы и

масса любого атома. Вѣсъ молекулы воды, напримѣръ, равняется $\frac{18}{N}$; вѣсъ молекулы кислорода равняется $\frac{32}{N}$ и т. д.; также точно вѣсъ атома кислорода, получаемый путемъ дѣленія граммъ-атома кислорода на N, составляетъ $\frac{16}{N}$; вѣсъ атома водорода будетъ $\frac{1{,}008}{N}$ и т. д.

5. Нетрудно видѣть, кромѣ того, что опредѣленіе постоянной Авогадро дало бы намъ среднюю кинетическую энергію поступательнаго движенія различныхъ молекулъ. Остановимся подробнѣе на этомъ важномъ вопросѣ.

Если жидкость состоитъ изъ одинаковыхъ молекулъ, находящихся въ непрерывномъ движеніи, то давленіе этой жидкостью, оказываемое на стѣнки сосуда, въ которомъ она находится, объясняется ударами ея молекулъ объ эти стѣнки; для случая газа (въ которомъ молекулы расположены въ большомъ разстояніи другъ отъ друга) можно, слѣдуя разсужденіямъ Джоуля, Клаузіуса и Максвеля, показать, что изъ такого представленія вытекаетъ точное соотношеніе:

$$pv = \frac{2}{3} nw,$$

гдѣ p, обозначаетъ давленіе, которое n молекулъ, обладающихъ каждая средней кинетическою энергіей w, развиваютъ въ объемѣ v.

Для граммъ-молекулы величина n становится равнымъ N и pv—равнымъ RT, причемъ T есть абсолютная температура, а R—постоянная идеальныхъ газовъ ($83{,}2.10^6$ въ системѣ единицъ $C.\ G.\ S.$); тогда предыдущее уравненіе принимаетъ видъ

$$\frac{2}{3} Nw = RT,$$

или

$$w = \frac{3R}{2N} T.$$

Но N имѣетъ одинаковую величину для всѣхъ тѣлъ. Поэтому и молекулярная энергія поступательнаго движенія имѣетъ для всѣхъ газовъ одну и ту же среднюю величину, пропорціональную абсолютной температурѣ,

$$w = \alpha T.$$

Постоянная α (ее можно назвать **постоянной молекулярной энергіи**), равная $\frac{3R}{2N}$, является, подобно N, универсальной постоянной.

6. Мы получаемъ еще третью универсальную постоянную. Эта постоянная обнаруживается при изученіи явленій электролиза. Какъ извѣстно, *разложеніе* электрическимъ токомъ граммъ-молекулы даннаго электролита сопровождается всегда перенесеніемъ одного и того же количества электричества; это объясняютъ, принимая, что во всякомъ электролитѣ, находящемся въ растворѣ, часть молекулъ диссоціирована на подвижные *іоны*, являющіеся носителями опредѣленныхъ электрическихъ зарядовъ; если мы назовемъ *фарадеемъ* количество элекричества F (96.550 кулоновъ), которое переносится чрезъ растворъ при разложеніи одной граммъ-молекулы соляной кислоты, то, какъ извѣстно, разложеніе граммъ-молекулы какого-либо другого вещества сопровождается переходомъ цѣлаго числа фарадеевъ, и слѣдовательно, всякій іонъ переноситъ зарядъ, равный заряду водороднаго іона, взятому цѣлое число разъ. Этотъ зарядъ водороднаго іона, обозначаемый e, представляется такимъ образомъ недѣлимымъ и образуетъ **атомъ электричества** или электронъ.

Эту универсальную постоянную мы опредѣлимъ, если будемъ знать N или α, ибо мы имѣемъ:

$$Ne = F,$$

т. е. въ электростатическихъ единицахъ $C.\ G.\ S.$:

$$Ne = 96550 \,.\, 3 \,.\, 10^9 = 29 \,.\, 10^{13},$$

такъ какъ въ состояніи іоновъ граммъ-атомъ водорода или иначе, N атомовъ водорода переносятъ одинъ фарадей. Такимъ образомъ сразу находятся всѣ три универсальныя постоянныя N, e, α. Можно ли получить это?

7. Имѣть отвѣтъ на этотъ вопросъ и опредѣлить приближенно величину самихъ молекулъ явилась возможность на основаніи замѣчательныхъ трудовъ Клаузіуса, Максвеля и Ванъ-деръ-Ваальса. Я изложу здѣсь вкратцѣ общій ходъ этихъ изслѣдованій.

Во-первыхъ, для каждаго газа вычисляютъ средній квадратъ U^2 молекулярной скорости, исходя изъ даннаго выше уравненія

$$\frac{2}{3}Nw = RT;$$

здѣсь $2Nw$ можетъ быть замѣнено посредствомъ MU^2, если чрезъ M обозначить массу граммъ-молекулы разсматриваемаго газа. Такимъ путемъ находятъ, что U относится къ порядку величинъ въ нѣсколько сотъ метровъ въ секунду (435 метровъ при 0^0 для кислорода).

Само собою разумѣется, что скорости молекулъ крайне измѣнчивы и неравны, но если газъ поставленъ въ условія, остающіяся постоянными, то относительное число молекулъ, имѣющихъ опредѣленную скорость, остается неизмѣннымъ. Допуская, что вѣроятность какой-либо слагающей x—независима отъ величинъ слагающихъ y и z, или еще допуская, что величины каждой слагающей распредѣлены по ту и другую стороны нуля, сообразно закону случайностей (Лапласъ-Гауссъ),—Максвель сумѣлъ опредѣлить законъ распредѣленія молекулярныхъ скоростей.

Законъ этотъ позволяетъ вычислить среднюю скорость Ω, которая не равна U (такъ же точно, какъ $\frac{a+b}{2}$ не есть корень квадратный изъ $\frac{a^2+b^2}{2}$), но которая нез-

начительно разнится отъ него ($\Omega = 0{,}92\ U$). Далѣе, тотъ же законъ даетъ возможность провѣрить вычисленіемъ гипотезу, согласно которой *внутреннее треніе* между двумя параллельными слоями, обладающими различными скоростями, проистекаетъ отъ постояннаго попаданія въ каждый слой молекулъ изъ другого слоя. Максвель нашелъ такимъ образомъ, что ζ коэффиціентъ внутренняго тренія или вязкости (*коэффиціентъ, который можетъ быть измѣренъ на самомъ дѣлѣ*) долженъ приблизительно равняться одной трети произведенія слѣдующихъ трехъ количествъ: абсолютная плотность газа δ (которую даютъ вѣсы), средняя скорость молекулы Ω (которую мы умѣемъ вычислять) и средній свободный пробѣгъ молекулы L (средняя величина пути, какой пробѣгаетъ молекула по прямой линіи между двумя послѣдовательными столкновеніями).

Этотъ *средній свободный пробѣгъ* можетъ быть опредѣленъ; напримѣръ, для кислорода или азота при обыкновенной температурѣ и атмосферномъ давленіи онъ равняется приблизительно $\frac{1}{10}$ микрона.

Съ другой стороны, разсужденіе, которымъ мы обязаны Клаузіусу, показываетъ, что этотъ средній свободный пробѣгъ можетъ быть вычисленъ и другимъ путемъ, въ функціи разстоянія между молекулами и размѣровъ молекулъ. Въ самомъ дѣлѣ, понятно, что такой пробѣгъ будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ молекулы будутъ другъ къ другу ближе, и чѣмъ онѣ будутъ крупнѣе.

Но можно различнымъ образомъ занимать въ пространствѣ мѣсто, и напримѣръ, молекула, имѣющая форму стержня (таковыми могутъ быть нѣкоторыя молекулы жирнаго ряда) будетъ загромождать путь иначе, чѣмъ шарообразная молекула. За отсутствіемъ какихъ бы то ни было знаній о формѣ молекулъ, долгое время думали, что не будетъ грубой ошибки, если уподобить

ихъ сферамъ съ діаметромъ, равнымъ среднему разстоянію центровъ двухъ молекулъ въ моментѣ ихъ сталкиванія. Эта гипотеза, впрочемъ, можетъ быть вполнѣ строгой для случая молекулъ, состоящихъ изъ одного атома (ртуть, аргонъ и пр.).

Приближенное вычисленіе Клаузіуса, исправленное Максвелемъ, показываетъ, что приблизительно мы должны имѣть:

$$nD^2 = \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \cdot \frac{1}{L};$$

здѣсь D обозначаетъ діаметръ молекулы, а n—число молекулъ въ каждомъ кубическомъ сантиметрѣ. Такъ какъ мы имѣемъ уже L, то второе соотношеніе, связывающее n и D, дало бы намъ діаметръ молекулъ и ихъ число n въ кубическомъ сантиметрѣ. Въ такомъ случаѣ, умножая это число n на извѣстный объемъ граммъ-молекулы при величинахъ температурѣ и давленія, принятыхъ въ вычисленіи, мы получили бы N, число молекулъ въ граммъ-молекулѣ, т. е. *мы знали бы три искомыя универсальныя постоянныя.*

Однако, это второе соотношеніе между n и D не такъ легко получить.

8. Можно, во-первыхъ, замѣтить, что въ жидкомъ состояніи тѣла молекулы этого тѣла не могутъ быть сжаты болѣе, чѣмъ ядра въ кучѣ ядеръ. А слѣдовательно, и

$$n . \frac{4}{3}\pi\left(\frac{D}{2}\right)^3 \text{ или } \frac{1}{6}\pi n D^3 < 0,73\ \varphi,$$

если черезъ φ обозначимъ объемъ, который въ жидкомъ состояніи и при низкой температурѣ занимаетъ масса кубическаго сантиметра разсматриваемаго газа. Это неравенство въ соединеніи съ предыдущимъ уравненіемъ даетъ намъ несомнѣнно слишкомъ большую величину для D и, слѣдовательно, несомнѣнно слишкомъ малыя величины для n и N.

Обыкновенно вычисленіе дѣлаютъ для кислорода (при этомъ получается $N > 9.10^{22}$); повторяя то же вычисленіе для ртути, молекулы которой дѣйствительно могутъ быть сферическими, мы найдемъ, какъ низшій предѣлъ для N, величину болѣе высокую и, стало быть, болѣе выгодную,—а именно:

$$N > 45.10^{22}.$$

Что же касается діаметра молекулъ, то для всѣхъ разсмотрѣнныхъ газовъ получается эта величина меньше одной милліонной доли миллиметра.

Но діаметръ молекулы можетъ быть въ колоссальное число разъ меньше этой величины, и мы почувствуемъ себя удовлетворенными только тогда, когда установимъ самый низкій предѣлъ для него. Этого мы достигнемъ, воспользовавшись идеей Клаузіуса и Моссотти, согласно которой діэлектрическія свойства газа зависятъ отъ того, что каждая молекула газа поляризуется путемъ перемѣщенія въ ней внутреннихъ электрическихъ зарядовъ. Развивая эту гипотезу, мы напишемъ, что истинный объемъ n молекулъ больше объема u, занятаго n проводящими сферами, которыя могли быть помѣщены на мѣсто молекулъ безъ измѣненія діэлектрической постоянной K. Теорія электростатики даетъ для u величину $\frac{K-1}{K+2}$; поэтому можно написать:

$$\frac{1}{6}\pi n D^3 > \frac{K-1}{K+2}.$$

Примѣняя это къ аргону и беря по прежнему nD^2 изъ уравненія Клаузіуса, получаемъ:

$$N < 200.10^{22}.$$

Что же касается діаметра молекулъ, то найдено (для всѣхъ разсмотрѣнныхъ такимъ образомъ газовъ), что онъ превосходитъ одну десятимилліонную миллиметра.

Итакъ, различныя молекулярныя величины заключены у насъ между двумя предѣлами, которые, на-

сколько рѣчь идетъ о вѣсѣ каждой молекулы, относятся между собой, какъ 45 и 200.

Болѣе тонкимъ анализомъ по этому вопросу мы обязаны Ванъ-деръ-Ваальсу (1873). До работы Ванъ-деръ-Ваальса при выводѣ уравненія газа пренебрегали двумя обстоятельствами: 1) объемомъ молекулъ газа, полагая, что этотъ объемъ ничтожно малъ по сравненію съ тѣмъ объемомъ, въ которомъ движутся молекулы, и 2) тѣмъ слабымъ дѣйствіемъ, какое оказываютъ, вслѣдствіе притяженія молекулы другъ на друга. Ванъ-деръ-Ваальсъ, принявъ во вниманіе оба эти фактора, получилъ свое знаменитое уравненіе:

$$\left(p+\frac{a}{v^2}\right)\left(v-b\right)=RT,$$

которое можетъ съ большимъ приближеніемъ быть примѣняемо не только къ газообразному, но и къ жидкому состоянію тѣла; природа изучаемаго тѣла опредѣляется въ этомъ уравненіи двумя постоянными a и b; одна изъ этихъ постоянныхъ—a зависитъ отъ силы притяженія между молекулами тѣла, другая же постоянная b обозначаетъ учетверенный истинный объемъ молекулъ взятой массы тѣла, занимающей объемъ v. Поэтому, если b извѣстно, то уравненіе

$$\frac{1}{6}\pi n D^3=\frac{b}{4},$$

въ соединеніи съ уравненіемъ Клаузіуса-Максвеля позволитъ вычислить неизвѣстныя n и D.

Это вычисленіе было сдѣлано для кислорода и азота, и для N получилась величина, приблизительно равная 45.10^{22}; повторивъ вычисленіе для аргона, въ молекулѣ котораго всего одинъ атомъ, мы получимъ

$$N=62.10^{22}.$$

Однако, при этомъ довольно трудно опредѣлить ошибку, какая можетъ получиться въ вычисленной величинѣ N, вслѣдствіе не полной строгости уравненія

Клаузіуса-Максвеля и самаго уравненія Ванъ-деръ-Ваальса. Ошибка въ 30% не вызвала бы удивленія.

Съ этимъ опредѣленіемъ мы достигаемъ предѣла перваго ряда усилій ученыхъ. Идя по совершенно другимъ путямъ, мы найдемъ болѣе согласные и болѣе точные результаты.

9. Мы видѣли, что при одной и той же температурѣ средняя молекулярная энергія одинакова для всѣхъ газовъ. Этотъ выводъ сохраняетъ свою силу и тогда, когда газы смѣшаны. Извѣстно, въ самомъ дѣлѣ, что въ послѣднемъ случаѣ, т. е. въ смѣси, каждый отдѣльный газъ давитъ на окружающую его оболочку, *какъ если бы онъ былъ одинъ,* т. е. что n молекулъ этого газа развиваютъ въ объемѣ v то же самое парціальное давленіе, какъ если бы онѣ однѣ находились тамъ, и такимъ образомъ $\frac{3}{2} \cdot \frac{pv}{n}$, а слѣдовательно и w сохраняетъ ту же величину. Напримѣръ, молекулы аргона и кислорода, находящіяся въ воздухѣ, обладаютъ той же средней кинетической энергіей, какой обладалъ бы каждый изъ этихъ газовъ, взятый отдѣльно.

Эта неизмѣняемость не ограничивается газообразнымъ состояніемъ, и прекрасные труды Вантъ-Гоффа показываютъ, что она простирается и на молекулы въ разведенныхъ растворахъ. Представимъ себѣ *полупроницаемую* оболочку, заключающую такой растворъ и отдѣляющую его отъ чистаго растворителя; эта оболочка свободно пропускаетъ молекулы растворителя, которыя не могутъ, слѣдовательно, оказывать на нее никакого давленія, но она задерживаетъ растворенныя молекулы. Удары этихъ молекулъ объ оболочку разовьютъ при такихъ условіяхъ *осмотическое давленіе* P; примѣняя то же разсужденіе, какъ и для случая газовъ, мы можемъ вычислить давленіе P и найдемъ, что

$$Pv = \frac{2}{3} nW,$$

гдѣ W обозначаетъ среднюю энергію поступательнаго движенія n молекулъ, заключенныхъ въ объемѣ v оболочки.

Но, какъ показалъ Вантъ-Гоффъ, изъ опытовъ Пфеффера вытекаетъ, что осмотическое давленіе равно давленію, которое оказывало бы растворенное вещество, если бы оно при такой температурѣ одно занимало въ газообразномъ состояніи объемъ оболочки. Итакъ, W равно w: молекулы тѣла, находящагося въ растворѣ, имѣютъ ту же среднюю энергію, какую имѣли бы молекулы этого тѣла, если бы это тѣло при той же температурѣ было въ газообразномъ состояніи и занимало объемъ, равный объему раствора.

По этому поводу слѣдуетъ сдѣлать замѣчаніе, которое само собой приводитъ на мысль ту формулировку, къ какой труднымъ путемъ приходитъ кинетическая теорія жидкости. Законъ Вантъ-Гоффа учитъ насъ, что молекула этиловаго алкоголя, растворенннаго въ водѣ, имѣетъ ту же энергію, какъ и какая-либо изъ молекулъ пара, носящагося надъ растворомъ; эта молекула имѣла бы опять-таки такую же энергію, если бы она находилась въ хлороформѣ (т. е. если бы она была окружена молекулами хлороформа), или даже если бы она была въ метиловомъ, либо пропиловомъ алкоголѣ; это безразличіе къ природѣ молекулъ той жидкости, въ которой движется наша молекула, заставляетъ думать, что эта молекула будетъ обладать такой же энергіей и тогда, если она очутится въ этиловомъ алкоголѣ, т. е. если она будетъ представлять собой одну изъ молекулъ, образующихъ чистый этиловый алкоголь. Мы видимъ отсюда, что въ жидкости ли, или въ газѣ молекулярная энергія—одинакова, и мы можетъ сказать теперь:

При одной и той же температурѣ молекулы всѣхъ тѣлъ въ жидкомъ или газообразномъ состояніи имѣютъ одну и ту же среднюю кинетическую энергію, пропорціональную абсолютной температурѣ.

36038

Дніпропетровська ... бібліотека

Можно еще расширить это положеніе, уже столь обобщенное. Это положеніе подразумѣваетъ и для тяжелыхъ молекулъ сахара, которыя движутся въ подсахаренной водѣ, ту же среднюю энергію, какъ и для подвижныхъ молекулъ воды. Между тѣмъ, эти молекулы сахара содержатъ уже 35 атомовъ; молекулы же сѣрнокислаго хинина содержатъ ихъ болѣе 100, и можно было бы привести еще болѣе сложныя молекулы, на которыя простираются законы Вантъ-Гоффа (или законы Рауля, выводимые изъ законовъ Вантъ-Гоффа).

Разсмотримъ въ такомъ случаѣ еще нѣсколько болѣе крупную молекулу, которая сама состоитъ изъ нѣсколькихъ молекулъ, — словомъ, разсмотримъ *пылинку*. Будетъ ли она, согласно какому-либо новому закону, отвѣчать на толчки молекулъ, которыя ее окружаютъ? Или не станетъ ли и она поступать просто-напросто, подобно очень крупной молекулѣ, такъ, что ея средняя энергія окажется такой же величины, какъ и энергія отдѣльной молекулы? Можно поколебаться относительно утвердительнаго отвѣта на послѣдній вопросъ, но такая гипотеза кажется, по меньшей мѣрѣ, достаточно пріемлемой для того, чтобы стоило труда обсудить вытекающія изъ нея слѣдствія.

Мы, пришли, стало быть, къ наблюденію зеренъ эмульсіи и къ изученію этого чудеснаго движенія, котораго одного было бы достаточно, чтобы подсказать молекулярную гипотезу. Въ то же время мы пришли и къ болѣе точной формулировкѣ теоріи этого движенія, ибо мы говоримъ не только то, что каждая частица обязана своимъ движеніемъ толчкамъ молекулъ, но еще и то, что энергія этой частицы, поддерживаемая такими толчками, въ среднемъ равна средней энергіи каждой изъ этихъ молекулъ.

Положенія, правдоподобность которыхъ только что показана, могутъ быть разсматриваемы, какъ частные

случаи знаменитой теоремы о **равномѣрномъ распредѣленіи энергіи.** Эта теорема была завоевана шагъ за шагомъ, благодаря трудамъ многочисленныхъ ученыхъ, изъ которыхъ необходимо вспомнить Максвеля, Гиббса, Больцманна, Джинса, Ланжевена. Эта теорема привела къ утвержденію равенства, въ среднемъ, энергій поступательнаго и вращательнаго движеній, охватывающихъ въ нѣдрахъ жидкости какія-либо сочетанія молекулъ. Эта же теорема имѣла большое значеніе и въ другихъ вопросахъ. Она, напримѣръ, дала возможность предвидѣть, исходя изъ числа атомовъ молекулы газа, отношеніе удѣльныхъ теплоемкостей этого газа. Однако, доказательство этой теоремы требуетъ очень сложныхъ вычисленій, и потому кажется, что предпочтительнѣе путь болѣе простой, хотя и менѣе строгій. Впрочемъ, слово „доказательство" не должно возбуждать иллюзій, ибо гипотезы вводятся или сами проскальзываютъ въ эти вычисленія, какъ и почти во всей теоріи математической физики.

Словомъ мы пришли къ мысли, что средняя энергія поступательнаго движенія молекулы равна той энергіи, которой обладаютъ зернышки эмульсіи. Если, слѣдовательно, мы найдемъ средство вычислить эту энергію зернышекъ, исходя изъ величинъ, поддающихся измѣренію, то мы будемъ въ состояніи дать оцѣнку нашей теоріи. Въ самомъ дѣлѣ, могутъ представиться два случая: или полученныя числа будутъ рѣзко отличаться отъ тѣхъ, какія были получены на основаніи выше приведенныхъ разсужденій и тогда,—особенно, если числа станутъ мѣняться съ перемѣной изучаемыхъ зеренъ,—тогда надежность кинетическихъ теорій уменьшится; или же наши числа *для всякихъ размѣровъ зеренъ и для всякаго рода зеренъ* будутъ соотвѣтствовать порядку вычисленныхъ теоретически, тогда мы будемъ имѣть право считать установленной молекулярную

теорію этого движенія зеренъ; а кромѣ того, мы сможемъ тогда искать въ этихъ опытахъ и средство для опредѣленія молекулярныхъ величинъ. Я надѣюсь показать, что опытъ далъ ясные результаты въ послѣднемъ смыслѣ.

II.

10. Слѣдующій пріемъ можетъ показаться непосредственно ведущимъ къ цѣли: допустимъ, что измѣрена масса одного зернышка; нельзя ли въ такомъ случаѣ получить, по крайней мѣрѣ, представленіе о его средней скорости, а слѣдовательно, и о средней энергіи этого зернышка путемъ прямыхъ наблюденій: или раздѣляя на продолжительность наблюденія разстояніе между двумя положеніями, какія зернышко занимало въ началѣ и въ концѣ этого наблюденія (средняя кажущаяся скорость), или слѣдя въ проэкціи на экранѣ за траекторіей этого зерна въ теченіе заданнаго времени и затѣмъ дѣля на это время всю длину замѣченной траекторіи?

Такъ сначала и дѣлали, и въ различныхъ мемуарахъ мы находимъ опредѣленныя величины скорости, составляющія всего нѣсколько микроновъ въ секунду для зеренъ, относящихся къ порядку одного микрона; такой результатъ заставляетъ приписать этимъ зернамъ среднюю энергію приблизительно въ сто тысячъ разъ меньшую, чѣмъ та, какую даетъ намъ кинетическая теорія для молекулы. Это совершенно противорѣчитъ ученію о равномѣрномъ распредѣленіи энергіи.

Но подобныя опредѣленія вполнѣ *ошибочны*. Траекторіи, описываемыя зернами, настолько извилисты и настолько быстро пробѣгаются послѣдними, что точно прослѣдить за движеніями зеренъ не представляется возможнымъ. Вслѣдствіе этого кажущаяся траекторія

представляется гораздо проще и много короче, чѣмъ траекторія дѣйствительная. Такъ же точно кажущаяся средняя скорость зернышка въ теченіе даннаго промежутка времени „прямо безумно“ варіируетъ и по величинѣ, и по направленію и при этомъ нисколько не обнаруживаетъ стремленія къ какому-либо предѣлу, когда время наблюденія убываетъ. Въ этомъ можно убѣдиться, отмѣчая въ проэкціи на экранѣ положенія зерна черезъ минуту, а затѣмъ, напримѣръ, черезъ каждыя пять секундъ, или, еще лучше, фотографируя эти положенія каждую двадцатую секунды, какъ это и дѣлалъ Викторъ Анри, чтобы имѣть кинематографическій снимокъ движенія. Вмѣстѣ съ тѣмъ нельзя провести и касательную ни въ какой точкѣ этой траекторіи. Такимъ образомъ въ этомъ явленіи мы встрѣчаемся съ однимъ изъ тѣхъ случаевъ, когда нельзя не подумать о функціяхъ, не имѣющихъ производной,—функціяхъ, которыя напрасно было бы разсматривать, какъ простые математическіе курьезы, ибо природа подсказываетъ ихъ такъ же, какъ и функціи, имѣющія производную.

Итакъ, прямое измѣреніе—невозможно. Перейдемъ къ ознакомленію съ тѣмъ путемъ, которымъ я слѣдовалъ.

11. Предположимъ, что намъ удалось получить эмульсію съ вполнѣ тождественными зернами; такую эмульсію для сокращенія я буду называть *однородной*. Съ самаго начала, на основаніи соображеній, мнѣ казалось, что зерна этой эмульсіи должны размѣститься опредѣленнымъ образомъ въ зависимости отъ высоты, какъ это происходитъ съ молекулами газа подъ дѣйствіемъ силы тяжести. Подобно тому, какъ воздухъ оказывается плотнѣе на уровнѣ моря, чѣмъ на вершинѣ горы, такъ же точно и зерна эмульсіи, каково бы ни было ихъ первоначальное распредѣленіе, должны

въ концѣ концовъ пріобрѣсти устойчивое положеніе, причемъ густота этихъ зеренъ въ послѣдовательныхъ слояхъ должна быть тѣмъ меньше, чѣмъ высота слоя отъ дна сосуда больше, и законъ такого разрѣженія зеренъ долженъ быть одинаковъ съ закономъ разрѣженія воздуха при поднятіи отъ земной поверхности.

Внимательное изученіе разсматриваемаго явленія вполнѣ подтверждаетъ такую догадку и даетъ законъ разрѣженія, который выводится путемъ разсужденія, очень сходнаго съ тѣмъ, какое позволило Лапласу связать высоту мѣстности съ барометрическимъ давленіемъ.

Представимъ себѣ однородную эмульсію, которая находится въ равновѣсіи и помѣщается въ вертикальномъ цилиндрѣ съ поперечнымъ сѣченіемъ S. Состояніе горизонтальнаго слоя жидкости, заключающагося между уровнями h и $h + dh$, не измѣнилось бы, если бы этотъ слой былъ помѣщенъ между двумя поршнями, проницаемыми для молекулъ воды, но непроницаемыми для зеренъ. Каждый изъ этихъ поршней подвергался бы осмотическому давленію, вслѣдствіе толчковъ со стороны зеренъ, которыя онъ задерживаетъ. Если эмульсія будетъ сильно разведена, то это давленіе можно вычислить путемъ того же разсужденія, какое примѣняется къ слабому раствору; такимъ образомъ, если на уровнѣ h въ единицѣ объема имѣется n зеренъ, то осмотическое давленіе P будетъ равно $\frac{2}{3}\ nW$, гдѣ W означаетъ среднюю энергію каждаго зерна; на уровнѣ $h + dh$ это давленіе будетъ уже составлять $\frac{2}{3}(n + dn)\,W$. Но мысленно выдѣленный нами слой жидкости съ содержащимися въ немъ зернами не падаетъ; для этого необходимо, чтобы существовало равновѣсіе между разностью осмотическихъ давленій, которая толкаетъ

этотъ слой вверхъ, и тѣмъ, что влечетъ его внизъ, т. е. вѣсомъ зеренъ, находящихся въ разсматриваемомъ слоѣ, минусъ потеря этого вѣса въ жидкости, согласно закону Архимеда. Отсюда, обозначая чрезъ φ объемъ каждаго зерна, черезъ Δ—плотность зерна и черезъ δ—плотность жидкости, находящейся между зернами, мы получаемъ равенство:

$$-\frac{2}{3} s W dn = nsdh\varphi\ (\Delta-\delta)\ g.$$

Проинтегрировавъ это выраженіе, мы получимъ слѣдующее соотношеніе между концентраціями распредѣленія зеренъ n_0 и n въ двухъ слояхъ, для которыхъ разность уровней равна h:

$$\frac{2}{3} W log \frac{n_0}{n} = (\Delta-\delta) gh.$$

Это соотношеніе можно назвать *уравненіемъ распредѣленія* эмульсіи, и оно ясно показываетъ, *что концентрація зеренъ однородной эмульсіи убываетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ высоты, согласно закону, выражающемуся показательной функціею*, совершенно подобно тому, какъ измѣняется и барометрическое давленіе съ высотою мѣстности.

Если можно будетъ измѣрить другія величины, входящія, кромѣ W, въ это уравненіе, то мы увидимъ, удовлетворяется ли оно во всѣхъ случаяхъ для постоянной величины W, и дѣйствительно ли совпадаетъ эта величина съ той, какая была приближенно приписана молекулярной энергіи. Въ случаѣ утвердительнаго отвѣта законы идеальныхъ газовъ можно будетъ считать примѣнимыми не только къ разведеннымъ растворамъ, но даже и къ взвѣшеннымъ внутри жидкости видимымъ зернамъ.

12. Послѣ нѣсколькихъ попытокъ мнѣ удалось произвести измѣренія надъ эмульсіями гуммигута, а затѣмъ (съ помощью г. Добровскаго) и надъ эмульсіями мастики.

Гуммигутъ, употребляемый для акварели, получается путемъ высушиванія млечнаго сока, который выдѣляетъ индо-китайская камбоджія. Если потереть кусокъ этого вещества объ руку подъ струей дистиллированной воды (такъ, какъ трутъ мыло, чтобы получить мыльную воду), то гуммигутъ растворяется, давая красивую эмульсію ярко желтаго цвѣта, въ которой въ микроскопъ видно, какъ кишатъ желтыя сферическія зерна разной величины. Посредствомъ центробѣжной машины можно отдѣлить эти зернышки, какъ отдѣляютъ красные кровяные шарики отъ сыворотки. Зернышки собираются тогда на днѣ отцентрифугированной пробирки въ видѣ густой желтой грязи; надъ этой грязью находится нечистая и мутная жидкость, которую сливаютъ. Желтый же осадокъ, разведенный снова въ водѣ, даетъ исходную эмульсію, которая послужитъ для приготовленія однородныхъ эмульсій, предназначенныхъ для нашихъ измѣреній.

Вмѣсто того, чтобы пользоваться естественными зернами, можно обработать гуммигутъ алкоголемъ, который полностью растворяетъ желтое вещество. Если этотъ алкогольный растворъ, очень прозрачный и похожій на растворъ соли двухромовокислаго кали, развести большимъ количествомъ воды, то онъ сразу превращается въ желтую эмульсію; послѣдняя имѣетъ такой же видъ, какъ и естественная эмульсія, и, подобно ей, состоитъ изъ сферическихъ зеренъ. Опять при помощи центрофуги можно отдѣлить зерна отъ воды, смѣшанной съ алкоголемъ, затѣмъ развести ихъ въ чистой водѣ и получить также, какъ это было только что описано, исходную эмульсію, въ которой находятся зерна очень различнаго размѣра съ діаметромъ, въ общемъ, ниже 1 μ (т. е. меньше 0,001 мм.).

Я имѣю основанія думать, что вещество осажденное такимъ образомъ водой, представляетъ опредѣленное

химическое тѣло (съ молекулярнымъ вѣсомъ около 540), а не смѣсь; но это не имѣетъ значенія для интересующей насъ здѣсь цѣли, и если зерна нашей исходной эмульсіи имѣютъ одинаковую плотность, этого достаточно, чтобы можно было извлечь изъ такой эмульсіи однородныя эмульсіи, пригодныя для измѣреній.

Что касается *мастики,* смолы, которой пользуются для изготовленія лаковъ, то она непосредственно не даетъ эмульсіи въ водѣ; но если оставить ее въ соприкосновеніи съ алкоголемъ, то поверхъ нерастворимаго смолистаго осадка получается растворъ, который, когда его разводятъ водой, даетъ молочно-бѣлую эмульсію, состоящую изъ сферическихъ зеренъ самаго разнообразнаго размѣра.

Итакъ, мы имѣемъ два вещества, которыя образуютъ сферическія зерна; для всякаго случая такихъ зеренъ уравненіе распредѣленія зеренъ радіуса a будетъ:

$$\frac{2}{3}\, W \log \frac{n_0}{n} = \frac{4}{3} \pi a^3 (\Delta - \delta) g h.$$

Я послѣдовательно опредѣлилъ всѣ величины, которыя входятъ въ это уравненіе.

13. Для этого необходимо было приготовить эмульсію, всѣ зерна которой были бы приблизительно одного и того же радіуса. Пріемъ, примѣненный мною, можно сравнить съ раздѣленіемъ жидкой смѣси путемъ дробной перегонки. Подобно тому, какъ при перегонкѣ выпаривающіяся сначала порціи относительно болѣе богаты летучими составными частями, такъ же точно и при центрифугированіи эмульсіи, части ея, осѣдающія прежде, оказываются относительно богаче болѣе крупными зернами. Не трудно представить себѣ, что такое **дробное центрифугированіе** позволяетъ раздѣлить зерна сообразно ихъ размѣрамъ. Такимъ способомъ я и приготовлялъ однородныя эмульсіи, послужившія для моихъ опытовъ.

Получивъ эмульсію, надо измѣрить кажущуюся плотность зеренъ ($\Delta - \delta$). Я примѣнялъ два способа, которые даютъ согласные результаты. Оба они основаны на томъ, что можно съ точностью опредѣлить количество смолы, находящейся въ данной эмульсіи, при посредствѣ высушиванія эмульсіи въ сушильномъ шкафу. Получающаяся при этомъ прозрачная стекловидная масса имѣетъ, вѣроятно, ту же плотность, какъ и вещество, образующее собою зерна эмульсіи, и мы можемъ обычнымъ способомъ, беря куски достаточнаго объема, опредѣлить плотность этого вещества. Таковъ первый пріемъ.

Второй, болѣе тонкій, въ сущности сводится къ „методу пикнометра", въ томъ видѣ, въ какомъ послѣдній примѣняется для изслѣдованія нерастворимыхъ порошковъ. При данной температурѣ измѣряютъ массы воды (m) и эмульсіи (m'), которыя наполняютъ одинъ и тотъ же пикнометръ; затѣмъ опредѣляютъ μ — массу смолы, содержащейся въ массѣ m' эмульсіи. Если d есть плотность воды, то объемъ пикнометра есть $\frac{m}{d}$, а объемъ воды, заключенной между зернами, — $\frac{m' - \mu}{d}$, разность же ихъ $\left[\frac{m}{d} - \frac{m' - \mu}{d}\right]$ выражаетъ объемъ зеренъ, и частное отъ дѣленія на этотъ объемъ массы зеренъ μ даетъ искомую плотность.

Двумя этими способами при 20° была найдена такая кажущаяся плотность: 0,207 для зеренъ гуммигута, и 0,063 для зеренъ мастики.

Остается сказать, какъ производятся самыя наблюденія. Само собою разумѣется, что не на высотѣ нѣсколькихъ сантиметровъ, — какъ подумалъ-бы кто-нибудь,—и даже не на высотѣ нѣсколькихъ миллиметровъ могъ я изучать состояніе равновѣсія въ моихъ эмульсіяхъ. Для моихъ измѣреній приходилось брать

препаратъ самой ничтожной высоты и приспособленный для микроскопическихъ наблюденій.

Представьте себѣ, что къ предметному стеклу приклеено очень тонкое стеклышко, въ серединѣ котораго просверлено широкое круглое отверстіе. Такимъ образомъ получается нѣчто въ родѣ плоской цилиндрической ванночки, имѣющей высоту, напримѣръ, 100 μ. Въ центрѣ этой ванночки помѣщаютъ каплю эмульсіи, которую тотчасъ же сплющиваютъ покровнымъ стеклышкомъ, совершенно закрывающимъ ванночку; затѣмъ, чтобы предупредить испареніе, края покровнаго стеклышка заливаютъ параффиномъ.

Тогда препаратъ переносится на предметный столикъ хорошаго микроскопа, тщательно приведенный въ горизонтальное положеніе. Очень сильно увеличивающій объективъ имѣетъ небольшую глубину поля зрѣнія, и поэтому въ каждое мгновенье можно ясно видѣть только зерна, расположенныя въ очень тонкомъ горизонтальномъ слоѣ, толщина котораго относится къ порядку микрона. Если поднять или опустить микроскопъ, то видны будутъ зерна другого слоя.

Разстояніе этихъ двухъ слоевъ представитъ высоту h въ уравненіи распредѣленія. Мы получимъ ее, умножая перемѣщеніе h' на относительный показатель обѣихъ средъ, которыя раздѣляетъ покровное стекло. Что касается этого перемѣщенія h', то оно отсчитывается на головкѣ микрометрическаго винта, управляющаго движеніемъ микроскопа.

14. Мы знаемъ, что нужно опредѣлить отношеніе $\frac{n_0}{n}$ концентрацій зеренъ въ двухъ различныхъ уровняхъ; отношеніе это, очевидно, равно среднему отношенію чиселъ зеренъ, замѣчаемыхъ на обоихъ этихъ уровняхъ.

На первый взглядъ это кажется нелегкимъ; въ самомъ дѣлѣ, здѣсь рѣчь идетъ не о томъ, чтобы сосчи-

тать неподвижные предметы; когда наблюдатель смотритъ въ микроскопъ, онъ видитъ въ полѣ зрѣнія нѣсколько сотенъ зеренъ, которыя двигаются во всѣхъ направленіяхъ, а кромѣ того часть ихъ исчезаетъ и въ то же время появляются новыя зерна; — при такомъ зрѣлищѣ скоро становится очевиднымъ, что всѣ усилія даже для приблизительнаго подсчета зеренъ совершенно безполезны.

Казалось бы, что можно сдѣлать моментальный фотографическій снимокъ слоя и сосчитать въ немъ ясныя изображенія зеренъ. Я примѣнилъ этотъ способъ, но для діаметровъ, меньше 0,5 μ, не могъ получить отчетливыхъ изображеній; тогда я прибѣгъ къ слѣдующей хитрости:

Въ фокальной плоскости окуляра я помѣстилъ непрозрачный кружокъ съ проткнутымъ въ немъ иголкой очень маленькимъ круглымъ отверстіемъ. Поле зрѣнія такимъ образомъ до крайности суживалось, и глазъ могъ сразу опредѣлить точное число зеренъ, видимыхъ въ данный моментъ. Для этого достаточно, чтобы число это (часто равное нулю) было всегда меньше 5 или 6.

Поступая такимъ образомъ черезъ правильные промежутки времени (напримѣръ, каждыя пятнадцать секундъ), я записывалъ наблюденныя числа зеренъ; средняя величина этихъ чиселъ все больше и больше приближалась къ предѣлу, устанавливающему среднюю частоту зеренъ на изучаемомъ уровнѣ, въ слоѣ, на который наведенъ микроскопъ. Необходимо нѣсколько тысячъ наблюденій, если желательно достичь наиболѣе точнаго результата.

15. Чтобы быть въ состояніи провѣрить уравненіе распредѣленія, намъ нужно еще умѣть измѣрять *радіусъ зеренъ*. Я получилъ этотъ радіусъ тремя способами:

Во-первыхъ, слѣдуя примѣру Дж. Дж. Томсона, Ланжевена и всѣхъ тѣхъ, кому приходилось опредѣлять

размѣры капелекъ, образующихся въ газѣ при сгущеніи, я признавалъ правильность формулы Стокса (Stokes), относящейся къ движенію шара въ вязкой средѣ. Согласно этой формулѣ, сила тренія, противодѣйствующая движенію шара, въ каждый данный моментъ измѣряется величиной $6\pi\zeta av$, гдѣ ζ обозначаетъ вязкость среды, a—радіусъ шара и v—его скорость. Когда шаръ опускается равномѣрно подъ дѣйствіемъ одной только силы тяжести, то мы имѣемъ:

$$6\pi\zeta av = \frac{4}{3}\pi a^3 (\Delta - \delta) g,$$

уравненіе, которое позволяетъ опредѣлить a, разъ измѣрена скорость опусканія.

Предположимъ теперь, что мы имѣемъ очень высокій вертикальный столбъ изучаемой нами однородной эмульсіи. При такихъ условіяхъ мы будемъ такъ далеки отъ распредѣленія, соотвѣтствующаго равновѣсію, что зерна верхнихъ слоевъ будутъ падать, какъ капельки облака, несмотря на обратное теченіе, вызываемое нагроможденіемъ зеренъ въ нижнихъ слояхъ. Жидкость, слѣдовательно, станетъ дѣлаться болѣе прозрачной въ своей верхней части, и высота этой болѣе прозрачной зоны дастъ возможность опредѣлить скорость опусканія зеренъ,— скорость, для которой примѣняется формула Стокса.

И въ самомъ дѣлѣ, если наполнить эмульсіей *капиллярную* трубку на высотѣ нѣсколькихъ сантиметровъ и помѣстить эту трубку вертикально въ термостатъ, то мы увидимъ, какъ эмульсія послѣдовательно оставляетъ верхніе слои жидкости, уподобляясь облаку съ довольно отчетливо очерченной поверхностью, причемъ это облако спускается каждый день на одну и ту же высоту. Необходимо употреблять капиллярную трубку, чтобы избѣжать явленій конвекціи, очень легко возникающихъ въ широкихъ трубкахъ.

Однако, примѣненіе закона Стокса къ такимъ ма-

ленькимъ шарикамъ, хотя въ конечномъ результатѣ и законное, даетъ поводъ къ возраженіямъ, которыя я разсмотрю ниже. Желательно, слѣдовательно, получить величину радіуса зеренъ инымъ способомъ.

Я рѣшилъ эту задачу, сосчитывая, сколько заключается зеренъ въ извѣстномъ объемѣ *титрованной* эмульсіи, что даетъ массу каждаго зерна, а слѣдовательно, и радіусъ его, ибо плотность вещества извѣстна. Я воспользовался для этого случайно замѣченнымъ фактомъ, что въ очень слабо подкисленной средѣ зерна гуммигута пристаютъ къ стеклу. На значительномъ разстояніи отъ стѣнокъ Броуновское движеніе не измѣняется; но лишь только случайности этого движенія приведутъ зерно къ соприкосновенію со стѣнкой, зерно это дѣлается неподвижнымъ. Эмульсія такимъ образомъ постепенно бѣднѣетъ зернами, и спустя нѣсколько часовъ, всѣ зерна, какія она содержала, оказываются приклеившимися. Тогда можно спокойно сосчитать всѣ зерна, выдѣлившіяся изъ цилиндра, основаніе котораго, вполнѣ произвольное, можетъ быть измѣрено при помощи проэктированія на экранъ.

Я замѣтилъ еще, что подъ вліяніемъ слѣдовъ кислоты образуются прямыя палочки, состоящія изъ четырехъ или пяти зеренъ, и видно, какъ эти палочки движутся нѣкоторое время, прежде чѣмъ приклеиться ко дну. Длину такой палочки легко измѣрить при помощи проэктированія на экранъ, діаметръ же одного зерна можетъ быть измѣренъ только съ грубымъ приближеніемъ (по причинѣ расширенія, обусловливаемаго диффракціей). Это обстоятельство даетъ намъ третій способъ для полученія искомаго радіуса,—способъ не очень точный, но непосредственный. [1])

[1]) В. Анри уже употреблялъ этотъ способъ, чтобы получить приблизительно діаметръ (средній) зеренъ каучука, расположенныхъ нитями.

Эти три способа дали согласные результаты. Напримѣръ, если первымъ способомъ было получено 0,45 μ для радіуса зеренъ одной эмульсіи, то второй—далъ 0,46 μ, а третій—0,455 μ. Для другой эмульсіи, болѣе тщательно приготовленной, радіусъ былъ найденъ равнымъ 0,213 μ—по первому способу (законъ Стокса) и 0,212 μ—по второму способу (сосчитано было 11.000 зеренъ). Такимъ путемъ было найдено, что различные радіусы колебались отъ 0,52 μ до 0,14 μ, т.-е. доходили до границы ультрамикроскопическихъ величинъ.

16. Такое согласіе результатовъ имѣетъ важное значеніе, поскольку дѣло касается здѣсь закона Стокса. Законъ этотъ былъ установленъ въ предположеніи условій непрерывности, которыя далеко не имѣютъ мѣста для шариковъ, вовлеченныхъ въ активное Броуновское движеніе. Въ частности, законъ Стокса предполагаетъ постоянною истинную скорость шара по отношенію къ жидкости. Между тѣмъ, фактически эта скорость безпрерывно мѣняется по направленію и по величинѣ и не имѣетъ ничего общаго съ постоянной вертикальной скоростью (несравненно болѣе малой), съ которой опускается въ жидкости облако, образованное большимъ числомъ зеренъ; именно къ этому послѣднему и примѣняютъ формулу. Словомъ, пока не было экспериментальнаго доказательства, существовало сомнѣніе (на которое съ пользой указалъ Ж. Дюкло) при всѣхъ примѣненіяхъ закона Стокса къ микроскопическимъ величинамъ; въ частности такая неувѣренность оставалась и въ знаменитыхъ работахъ Дж. Дж. Томсона о сгущеніи капелекъ воды іонами,—капелекъ, которыя относятся къ порядку микрона и, помѣщаясь въ газѣ съ очень незначительной вязкостью, находятся въ крайне живомъ Броуновскомъ движеніи.

Изложенные мною сейчасъ опыты устраняютъ подобныя сомнѣнія. **Законъ Стокса сохраняетъ силу для области**

микроскопическихъ величинъ, и уже не будетъ являться сомнѣнія въ томъ, что онъ примѣнимъ и къ болѣе малымъ зернамъ обычныхъ коллоидовъ. Но этотъ законъ Стокса есть лишь примѣненіе къ частному случаю шара элементарнаго закона, при посредствѣ котораго вводится коэффиціентъ вязкости, и мы можемъ считать весьма вѣроятнымъ слѣдующее общее положеніе, которое можетъ быть прецизировано въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ:

Законы внутренняго тренія, установленные для перемѣщеній большихъ предметовъ въ непрерывной жидкой средѣ примѣняются и къ перемѣщеніямъ частицъ, участвующихъ въ Броуновскомъ движеніи.

17. Обладая всѣми средствами, какія намъ необходимы, мы можемъ теперь съ пользой изучать распредѣленіе зеренъ эмульсіи.

Итакъ, мы разсматриваемъ вертикальный цилиндръ эмульсіи, приспособленный для микроскопическаго наблюденія. Вначалѣ, послѣ того встряхиванія, какимъ неизбѣжно сопровождается установка нашего препарата, въ верхнемъ слоѣ его видно приблизительно столько же зеренъ, сколько и въ нижнемъ. Достаточно, однако, нѣсколькихъ минутъ, чтобы нижніе слои стали замѣтно богаче зернами; но это увеличеніе числа зеренъ стремится къ извѣстному предѣлу, который въ моихъ эмульсіяхъ наступаетъ чрезъ нѣсколько часовъ, послѣ чего распредѣленіе зеренъ остается приблизительно одинаковымъ и черезъ три часа, и черезъ двѣ недѣли. Разъ мы достигли установленія такого постояннаго состоянія, то легко рѣшить, измѣняется ли въ дѣйствительности распредѣленіе зеренъ въ различныхъ слѣдующихъ другъ за другомъ слояхъ, согласно показательной функціи, какъ требуетъ это наша теорія.

Въ качествѣ примѣра я приведу результаты, относящіеся къ ряду самыхъ тщательныхъ моихъ наблюде-

ній, произведенныхъ надъ зернами гуммигута съ радіусомъ въ 0,212 μ. Наблюденія дѣлались на препаратѣ, высотой въ 100 μ (0,1 миллиметра), въ четырехъ горизонтальныхъ слояхъ, помѣщенныхъ на разстояніи 30μ одинъ отъ другого на уровняхъ:

5μ 35μ 65μ 95μ.

Наблюденія охватывали 13.000 зеренъ и дали для этихъ уровней концентраціи, пропорціональныя числамъ:

100, 47, 22,6, 12,

а эти числа практически равны числамъ:

100, 46, 23, 11,1,

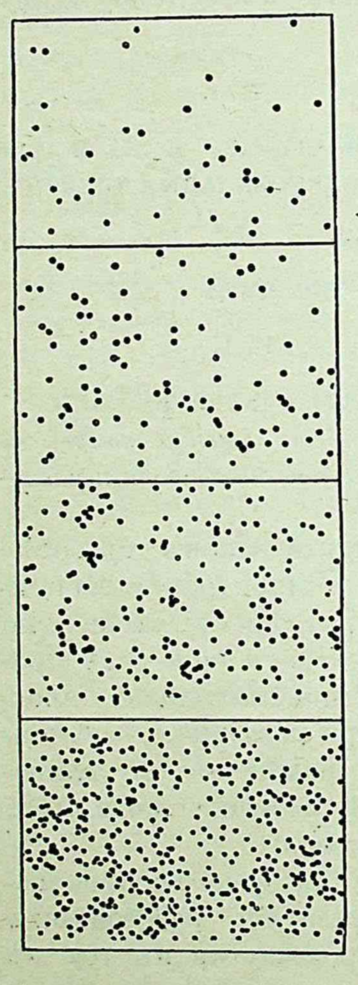
которыя убываютъ, согласно показательной функціи.

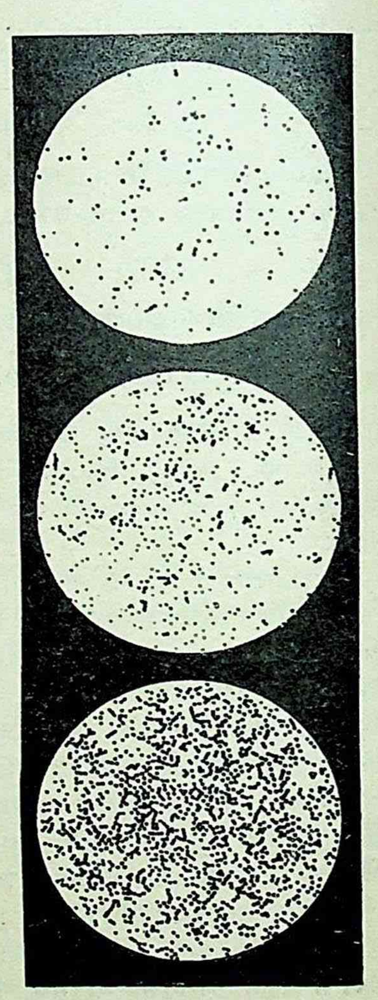
Итакъ, распредѣленіе зеренъ имѣетъ именно такую же форму, какъ и распредѣленіе вѣсомаго газа въ состояніи равновѣсія.

Я нашелъ тотъ же показательный законъ, съ болѣе или менѣе быстрымъ измѣненіемъ концентраціи для гуммигутовыхъ зеренъ различныхъ размѣровъ; затѣмъ, по совѣту и съ помощью г. Добровскаго я еще разъ продѣлалъ измѣреніе для зеренъ мастики, кажущаяся плотность которыхъ болѣе, чѣмъ въ три раза ниже,—обстоятельство, вносящее значительное измѣненіе во вліяющія на распредѣленіе причины. И все-таки снова былъ найденъ тотъ-же показательный законъ.

Если посмотрѣть на рисунки, которые воспроизводятъ разрѣзы, сдѣланные на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга—одни черезъ промежутки въ 10μ въ эмульсіи гуммигута (зерна въ 0,6μ), другіе—черезъ промежутки въ 12μ въ эмульсіи мастики (зерна въ 1μ), то на этихъ рисункахъ отчетливо замѣтно постепенное разрѣженіе. Разрѣженіе это особенно бросается въ глаза, если, глядя на препаратъ, быстро поднять микроскопъ

посредствомъ микрометрическаго винта. Въ такомъ случаѣ видно, что зерна быстро разрѣжаются, какъ атмосфера, которая окружаетъ поднимающійся аэростатъ,—







Гуммигутъ.

Мастика.

съ той разницей, что для эмульсіи нѣсколько микроновъ значатъ столько-же, сколько нѣсколько километровъ—для атмосферы.

Разъ установленъ показательный законъ, то уравненіе распредѣленія дастъ для каждой эмульсіи опредѣленную величину энергіи зеренъ W. Если наша теорія вѣрна, то эта величина будетъ независима отъ эмульсіи и равна средней молекулярной энергіи w. Или, что̀ равносильно, выраженіе $\frac{3}{2}\frac{RT}{W}$ будетъ равно постоянной Авогадро N, т. е. будетъ мало отличаться отъ числа 62.10^{22}, полученнаго согласно разсужденію Ванъ-деръ-Ваальса.

Это самое я и установилъ. Шесть серій опытовъ, произведенныхъ съ гуммигутомъ и мастикой,—причемъ я измѣнялъ массу зеренъ, въ отношеніи 1 къ 40,—дали мнѣ для N числа, заключавшіяся между 65.10^{22} и 75.10^{22}. Среднее отклоненіе отъ числа Ванъ-деръ-Ваальса не достигаетъ 15 процентовъ, а само это послѣднее число не отличается такой точностью.

Я не думаю, чтобы послѣ такого согласія выводовъ могло оставаться какое-либо сомнѣніе о происхожденіи Броуновскаго движенія. Чтобы понять, до какой степени удивителенъ этотъ результатъ, надо вспомнить, что до непосредственнаго изслѣдованія никто, навѣрно, не осмѣлился-бы утверждать, что измѣненіе въ концентраціи не будетъ ничтожнымъ на незначительной высотѣ въ нѣсколько микроновъ, и обратно, равнымъ образомъ, никто не осмѣлился-бы настаивать, что всѣ зерна не соберутся въ непосредственной близости къ дну ванночки. Первая изъ такихъ возможностей сводила-бы величину N къ нулю, вторая давала бы N безконечно большую величину. И тотъ фактъ, что въ тѣхъ **громадныхъ** предѣлахъ, какіе *a priori* кажутся возможными для колебаній величины N, мы для *каждой эмульсіи* получали величину, столь близкую къ числу, предвидѣнному теоріей,—фактъ этотъ, безъ сомнѣнія, никому не можетъ представиться результатомъ случайнаго совпаденія.

Законы идеальныхъ газовъ, распространенные уже Вантъ Гоффомъ на разведенные растворы, распространяются, стало быть, и на однородныя эмульсіи, и молекулярную теорію Броуновскаго движенія можно считать надежно обоснованной; вмѣстѣ съ тѣмъ становится крайне трудно отрицать объективную реальность молекулъ.

Интересно, быть можетъ, прибавить, что самыя крупныя употребленныя при этихъ измѣреніяхъ зерна, видимыя уже при солнечномъ освѣщеніи въ сильную лупу, дѣйствуютъ здѣсь, какъ молекулы идеальнаго газа, граммъ-молекула котораго вѣсила бы 200.000 *тоннъ*.

18. И это еще не все. Съ того момента, какъ мы считаемъ твердо установленнымъ уравненіе распредѣленія зеренъ, мы впервые находимъ въ этомъ самомъ уравненіи такое *средство* для опредѣленія постоянной N, *точность котораго можно повышать безгранично*. Приготовленіе однородной эмульсіи и опредѣленіе остальныхъ величинъ, входящихъ въ уравненіе, кромѣ N, могутъ быть дѣйствительно доведены до любой степени совершенства. Это—просто вопросъ терпѣнія и времени. Я произвелъ рядъ особенно тщательныхъ измѣреній съ зернами радіуса 0,22μ, о которыхъ я говорилъ только что, и я получилъ такимъ путемъ для **постоянной Авогадро** величину:

$$N = 70{,}5.10^{22}.$$

Отсюда съ той же точностью выводятся всѣ молекулярныя величины. **Постоянная молекулярной энергіи**, равная $\frac{3R}{2N}$, составляетъ въ единицахъ *C. G. S.*:

$$\alpha = 1{,}77.10^{-16},$$

что даетъ $0{,}48.10^{-13}$ эрговъ для выраженія средней кинетической энергіи молекулы при 0^0.

Наконецъ, наша третья универсальная постоянная, **зарядъ e электрона**, получающійся отъ дѣленія фарадея

на N, такъ выражается въ электростатическихъ единицахъ *C. G. S.*:

$$e = \mathbf{4{,}1.10^{-10}}.$$

Абсолютная масса молекулы или какого-либо атома получается очевиднымъ образомъ. Напримѣръ, масса молекулы кислорода будетъ:

$$O_2 = \frac{32}{N} = 45{,}4.10^{-24};$$

атомъ водорода будетъ:

$$H = \frac{1{,}008}{N} = 1{,}43.10^{-24}$$

и т. д.

Что касается размѣровъ молекулъ, то мы получимъ ихъ при помощи уравненія Клаузіуса-Максвеля. Я вычислилъ такимъ образомъ діаметры молекулъ для нѣсколькихъ нижеслѣдующихъ тѣлъ:

Гелій	$1{,}7.10^{-8}$
Аргонъ	$2{,}7.10^{-8}$
Ртуть	$2{,}8.10^{-8}$
. . . .	
Водородъ	$2{,}0.10^{-8}$
Кислородъ	$2{,}6.10^{-8}$
Азотъ	$2{,}7.10^{-8}$
Хлоръ	$4{,}0.10^{-8}$
Эфиръ	$6{,}0.10^{-8}$

Но, какъ мы видѣли, за исключеніемъ молекулъ, состоящихъ изъ одного атома, опредѣленіе даже діаметра молекулъ не достигаетъ той точности, какая возможна при опредѣленіи массъ.

Можно замѣтить кстати, что молекула водорода теряется въ нашемъ собственномъ тѣлѣ примѣрно такъ же, какъ это тѣло потерялось бы на солнцѣ.

19. Какъ видно, проведенные выше опыты даютъ возможность установить происхожденіе Броуновскаго движенія, **взвѣсить атомы** и опредѣлить различныя молекулярныя величины. Но есть и другой эксперимен-

тальный путь, правда, менѣе прямой и менѣе легко схватываемый,—путь, который былъ предложенъ Эйнштейномъ въ заключеніи его блестящихъ теоретическихъ работъ.

Не затрудняя себя разсмотрѣніемъ безконечно запутанной траекторіи, какую описываетъ каждое зерно за данный промежутокъ времени, Эйнштейнъ разсматриваетъ просто перемѣщеніе зерна за это время, т. е. прямолинейный отрѣзокъ, соединяющій начальную и конечную точки его пути. Подобно скоростямъ молекулъ какого-либо газа, и эти перемѣщенія должны соотвѣтствовать закону случайностей. Если зерна неравномѣрно распредѣлены въ жидкости, имѣющей ихъ плотность, то они будутъ диффундировать къ областямъ меньшей концентраціи съ тѣмъ большей быстротой, чѣмъ живѣе будетъ ихъ движеніе, т.-е. чѣмъ больше будетъ ихъ среднее перемѣщеніе за данное время. Анализируя математически эту идею, мы приходимъ, не вводя новыхъ гипотезъ, къ простому уравненію:

$$\xi^2 = 2D\tau,$$

гдѣ D обозначаетъ коэффиціентъ диффузіи, а ξ^2—средній квадратъ проекціи на ось Ox перемѣщенія за время τ. Это уравненіе останется годнымъ для всякой горизонтальной оси, когда зерна и не будутъ уже имѣть плотность находящейся между ними жидкости, ибо движеніе подъ прямымъ угломъ къ силѣ тяжести не будетъ измѣнено послѣднею.

Эйнштейнъ разсматриваетъ затѣмъ установившееся состояніе, какое получается, если постоянная сила, дѣйствуя на зерна, собираетъ ихъ близъ одной стѣнки. Далѣе онъ пишетъ, что въ такомъ случаѣ въ каждое мгновеніе черезъ всякую плоскость, перпендикулярную къ силѣ, проходитъ столько-же зеренъ въ одномъ направленіи подъ дѣйствіемъ этой силы, сколько проходитъ ихъ въ обратномъ направленіи подъ дѣйствіемъ

диффузіи, и получаетъ отсюда для сферическихъ зеренъ радіуса a въ средѣ съ вязкостью ζ уравненіе:

$$D=\frac{RT}{N}\cdot\frac{1}{6\pi a\zeta}.$$

Но при этомъ Эйнштейнъ очевидно долженъ былъ допустить, съ одной стороны, что законъ Стокса остается примѣнимымъ въ данномъ случаѣ (впослѣдствіи я показалъ, что это справедливо), и съ другой стороны, что энергія зеренъ, въ среднемъ, равна молекулярной энергіи, какъ это должно быть, если движенія молекулъ лежатъ въ основѣ Броуновскаго движенія. Такой ходъ мысли позволитъ, слѣдовательно, установить происхожденіе Броуновскаго движенія совершенно инымъ путемъ, чѣмъ тотъ, который я только что излагалъ.

Измѣреніе D было бы не легко, но этотъ коэффиціентъ исключается при помощи уравненія $\xi^2=2D\tau_1$ и мы получаемъ:

$$\xi^2=\tau\frac{RT}{N}\cdot\frac{1}{3\pi a\zeta}.$$

Наконецъ, разсматривая вращенія, которыя наравнѣ съ поступательными перемѣщеніями должны происходить подъ дѣйствіемъ столкновеній молекулъ, и допуская, что энергія вращенія, въ среднемъ, равна энергіи поступательнаго движенія, Эйнштейнъ получилъ, путемъ подобнаго же анализа, еще уравненіе, которое даетъ средній квадратъ α^2 вращенія за время τ по отношенію къ произвольно взятой оси:

$$\alpha^2=\tau\frac{RT}{N}\cdot\frac{1}{4\pi\zeta a^3}$$

20. Изъ двухъ этихъ уравненій только то, которое касается поступательнаго движенія, было подвергнуто провѣркѣ на опытѣ [1]). Попытка въ этомъ направленіи

[1]) Съ тѣхъ поръ я заполнилъ этотъ пробѣлъ и, благодаря небольшимъ внутреннимъ дефектамъ шариковъ, дефектамъ, послужившимъ реперами, измѣрилъ вращенія большихъ зеренъ мастики

была предпринята В. Анри, прибѣгшимъ къ кинематографическимъ снимкамъ. Къ сожалѣнію, одно частное усложняющее обстоятельство исказило его результаты и нѣкоторое время заставляло думать, что уравненіе Эйнштейна по просту невѣрно.

Если я упоминаю объ этомъ, то только потому, что я былъ сильно пораженъ легкостью, съ какой физики, даже наиболѣе преданные кинетической теоріи, готовы были, несмотря на то, что В. Анри опубликовалъ свои результаты, какъ предварительное сообщеніе и съ оговорками относительно ихъ всеобщности,—готовы были допустить, будто теорія Эйнштейна должна заключать въ скрытой формѣ какую-то необоснованную гипотезу. Этотъ фактъ показываетъ насколько, въ сущности, ограничено довѣріе, оказываемое нами теоріямъ, и до какой степени даже тѣ, кто строитъ эти теоріи, скорѣе видятъ въ нихъ орудія изслѣдованій, чѣмъ настоящія доказательства.

Хотя и на меня дѣйствовало общее сомнѣніе, но я думалъ, что могло быть все-таки полезно измѣрить движеніе зеренъ *точно извѣстнаго радіуса*, какія я умѣлъ приготовлять. Одинъ изъ моихъ юныхъ товарищей, г. Шодезэгъ (Chaudesaigues), пожелалъ взять на себя трудъ производить отмѣтки,—трудъ достаточно тягостный. Нужно было отмѣчать въ проекцій на экранѣ положеніе зерна каждыя полъ-минуты, затѣмъ продѣлывать ту же операцію съ другимъ зерномъ и т. д.

Послѣ первыхъ же измѣреній, вопреки моимъ ожиданіямъ, стало очевидно. что перемѣщенія, по крайней мѣрѣ, приблизительно подтверждали формулу Эйн-

---

(13μ въ діаметрѣ), взвѣшенныхъ въ растворѣ мочевины той же плотности (см. „Comptes rendus“, сент. 1909 г. и „Annales de chimie et physique“ за то же время). Принимая во вниманіе возможную степень точности, формула подтверждается замѣчательно и даетъ для N величину 65.10^{22}.

штейна. Это впечатлѣніе все болѣе укрѣплялось по мѣрѣ того, какъ очень большое число точекъ устраняло неправильности статистики. Г. Шодезэгъ думалъ о еще лучшей провѣркѣ и дѣйствительно нашелъ, что проекціи перемѣщеній распредѣляются по обѣ стороны нуля, согласно закону случайностей.

Эти наблюденія относились къ зернамъ гуммигута. Съ помощью г. Добровскаго я сдѣлалъ для зеренъ мастики почти вдвое большаго діаметра число отмѣтокъ, сравнимое съ предыдущимъ. На основаніи отмѣченныхъ почти 3.000 перемѣщеній (цифра еще слишкомъ малая) получилась для N величина

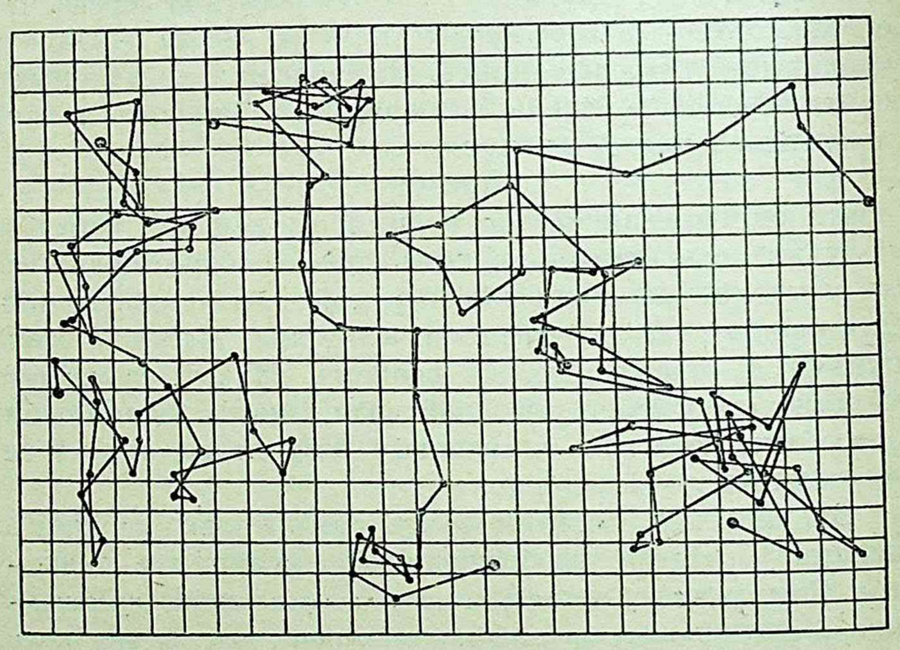
$$71{,}5.10^{22},$$

почти одинаковая съ той величиною $70{,}5.10^{22}$, какую я получилъ совершенно другимъ способомъ, состоявшимъ въ изученіи не движенія зеренъ, а въ изслѣдованіи ихъ распредѣленія. Средняя величина 71.10^{22} можетъ считаться пріемлемою. Во всякомъ случаѣ торжество кинетической теоріи, дающей возможность различными способами получить одинаковый результатъ, одну и ту же величину,—безспорно.

Броуновское движеніе даетъ намъ, только въ иномъ масштабѣ, вѣрное изображеніе молекулярныхъ движеній. Или, точнѣе, *наблюдаемыя движенія зеренъ представляютъ собою молекулярныя движенія, такъ же точно, какъ инфракрасный свѣтъ есть въ такой же мѣрѣ свѣтъ, какъ и свѣтъ ультрафіолетовый.*

На воспроизведенной здѣсь сѣткѣ, гдѣ 16 дѣленій соотвѣтствуютъ 50μ, можно видѣть три рисунка, полученные путемъ нанесенія отрѣзковъ, которые соединяютъ отмѣчаемыя каждыя тридцать секундъ послѣдовательныя положенія одного и того же зерна мастики съ діаметромъ около 1 μ. Средній квадратъ проекцій на одну ось такихъ отрѣзковъ служитъ для провѣрки формулы Эйнштейна. Рисунки наши даютъ лишь весьма

слабое представленіе объ изумительной запутанности дѣйствительной траекторіи. Въ самомъ дѣлѣ, если бы мы дѣлали отмѣтки каждую секунду, то каждый изъ этихъ прямолинейныхъ отрѣзковъ замѣнился бы многоугольнымъ контуромъ съ тридцатью сторонами,—контуромъ, относительно столь же сложнымъ, какъ и воспроизводимый здѣсь рисунокъ, и т. д.



Чтобы измѣнить условія опыта, я постарался (и успѣлъ въ этомъ) приготовить зерна, значительно болѣе крупныя, чѣмъ тѣ, которыми я пользовался до сихъ поръ, и діаметры которыхъ колебались между одной четвертью микрона и микрономъ. Для этой цѣли я медленно вливалъ воду черезъ воронку съ вытянутой трубкой подъ алькогольный растворъ мастики. Зерна, образующіяся при этомъ въ области, гдѣ проходитъ вода, обыкновенно имѣютъ въ діаметрѣ около 12 микроновъ и, слѣдовательно, бываютъ въ 100.000 разъ тяжелѣе, чѣмъ

самыя маленькія зерна изъ тѣхъ, какими я пользовался раньше. Чтобы этотъ вѣсъ не удерживалъ ихъ постоянно въ непосредственномъ соприкосновеніи съ дномъ, я наблюдалъ ихъ въ 27-процентномъ растворѣ мочевины, который имѣетъ почти такую же плотность, какъ самыя зерна. И при такихъ условіяхъ я убѣдился, что формула Эйнштейна продолжаетъ быть примѣнимой [1]), несмотря на громадную перемѣну, произведенную здѣсь въ массѣ зеренъ.

Итакъ, **молекулярная кинетическая теорія подтверждается при строгой провѣркѣ и приводитъ путемъ ли изученія распредѣленія зеренъ, или путемъ изученія ихъ движеній къ одной и той же точной величинѣ для постоянной Авогадро, основной постоянной строенія матеріи.**

Есть еще и другіе способы овладѣть этой постоянной. Хотя по большей части они и не отличаются такой точностью, но въ виду ихъ чрезвычайнаго разнообразія, согласіе даваемыхъ ими результатовъ имѣетъ чрезвычайно большое значеніе въ вопросѣ объ объективной реальности молекулъ. Не будучи въ состояніи изложить эти способы подробно, я хочу, по крайней мѣрѣ, перечислить ихъ, чтобы этотъ докладъ помогъ нарисовать цѣлостную перспективу явленій, въ которыхъ стоящая за ними реальность молекулъ воспринимается съ наибольшей силой нашимъ разумомъ.

III.

21. Формула диффузіи Эйнштейна, экстраполированная по отношенію къ молекуламъ, даетъ одно изъ на-

[1]) Впослѣдствіи, благодаря небольшимъ включеніямъ, содержавшимся въ нѣкоторыхъ шарикахъ, я могъ замѣтить и измѣрить ихъ вращенія и тѣмъ подтвердить послѣднюю формулу Эйнштейна подтверждая въ то же время и равенство, въ среднемъ, энергіи, поступательнаго движенія и энергіи вращенія.

званныхъ сейчасъ средствъ, если молекулы уподобить сферамъ. Въ самомъ дѣлѣ, она даетъ тогда Na, а разсужденіе Ванъ-деръ-Ваальса даетъ Na^3. Такимъ путемъ находятъ для N величины, заключенныя между $40 . 10^{22}$ и $90 . 10^{22}$ (ни одна молекула, состоящая изъ одного атома, не была изучена). Лучшаго нельзя было ожидать, принимая такія упрощенія.

Согласіе такого же порядка было отмѣчено и Пелла при гипотезѣ, что законъ Стокса примѣнимъ также и къ получающимся при электролизѣ іонамъ, причемъ форма ихъ предполагается сферической. Если принять во вниманіе *скорости, пріобрѣтенныя этими іонами въ данномъ полѣ*, то мы получимъ Na, а Na^3 можно вывести приблизительно изъ объема въ твердомъ состояніи. Величины, даваемыя для N различными металлическими іонами, располагаются между $60 . 10^{22}$ и $150 . 10^{22}$; порядокъ величины снова оказывается тѣмъ же самымъ.

Совершенно иной способъ, придуманный Рэлеемъ (Rayleigh) и указанный мнѣ Ланжевеномъ, позволяетъ сосчитать молекулы воздуха по производимой ими диффракціи солнечнаго свѣта, — диффракціи, которая является причиной **синяго окрашиванія неба**. Развивая теорію свѣтовыхъ колебаній, Рэлей приходитъ къ формулѣ (впослѣдствіи найденной Ланжевеномъ и по электромагнитной теоріи)—формулѣ, которая позволяетъ получить N, если измѣрены одновременно, одной и той же длины волны, блескъ солнца и, въ извѣстномъ направленіи, блескъ неба. Теперешнія измѣренія, къ сожалѣнію, мало точныя, даютъ величину $90 . 10^{22}$, причемъ ошибка, обусловливаемая неточностью измѣреній, можетъ доходить до 50 процентовъ. Порядокъ величины и здѣсь, какъ видимъ, получается тотъ же, что и раньше. И это уже замѣчательно; но можно надѣяться, что изъ такихъ наблюденій получится болѣе точный результатъ.

22. Вмѣсто того, чтобы стараться непосредственно овладѣть постоянной Авогадро или постоянной α молекулярной энергіи, изслѣдователи стремились къ непосредственному опредѣленію заряда e электрона, каковой зарядъ, какъ мы видѣли, долженъ составлять N-ую часть фарадея. Этимъ путемъ шли физики школы Дж. Дж. Томсона, пытаясь опредѣлить зарядъ іоновъ въ газахъ. Они использовали тотъ, установленный Уильсономъ (C. T. R. Wilson), фактъ, что во влажномъ воздухѣ, освобожденномъ отъ пылинокъ и внезапно пересыщенномъ посредствомъ разряженія, конденсація паровъ и образованіе капелекъ происходитъ вокругъ іоновъ.

Для этой цѣли измѣряютъ, безразлично какимъ способомъ, зарядъ E, находящійся въ формѣ іоновъ въ кубическомъ сантиметрѣ газа, поддерживаемаго въ состояніи постоянной іонизаціи; это измѣреніе даетъ произведеніе ne', числа n іоновъ, находящихся въ этомъ объемѣ, на искомый зарядъ e'. Затѣмъ опредѣленнымъ разряженіемъ сгущаютъ внезапно массу воды, вычислить которую позволяетъ термодинамика. Пусть m будетъ эта масса, соотвѣтствующая одному кубическому сантиметру первоначальнаго газа. Если каждый іонъ послужилъ зародышемъ капли, и если каждый зародышъ содержитъ только одинъ іонъ, то эта масса раздѣляется на n капелекъ, радіусъ которыхъ, положимъ, будетъ a. Тогда мы имѣемъ:

$$m = n\frac{4}{3}\pi a^3.$$

Но a можно получить, примѣняя формулу Стокса (я уже показалъ, что такое примѣненіе является обоснованнымъ). Стало быть, мы будемъ имѣть n, а затѣмъ и e', такъ какъ произведеніе ne' уже извѣстно.

Дж. Дж. Томсонъ и работавшіе послѣ него нашли такимъ путемъ для e' величину того же порядка, какъ и величина, предвидѣнная для электрона e, опредѣ-

ляемаго посредствомъ электролиза. Это совпаденіе не можетъ быть случайнымъ, и Тоунсенду (Townsend) удалось установить, что элементарный зарядъ газовъ іоновъ не можетъ отличаться отъ заряда іоновъ, образующихся при электролизѣ. Величины, полученныя для N по способу Дж. Дж. Томсона, лежатъ между $40 . 10^{22}$ и $90 . 10^{22}$. Эти данныя, можетъ быть, не отличаются большой точностью, но онѣ все же составили замѣтную дату въ развитіи науки, ибо здѣсь совершенно новымъ путемъ опредѣленъ, по крайней мѣрѣ, порядокъ величины электрическаго атома, которые Гельмгольцъ предвидѣлъ въ связи съ явленіями электролиза, и который затѣмъ былъ снова найденъ Дж. Дж. Томсономъ, какъ элементарная частица въ потокѣ катодныхъ лучей и послѣдній элементъ матеріи.

Въ томъ же кругѣ идей въ болѣе недавнее время этотъ же элементарный зарядъ удалось измѣрить на ультрамикроскопическихъ пылинкахъ, введенныхъ въ іонизированный газъ. Какъ это отмѣтилъ Ланжевенъ, подобныя пылинки притягиваютъ іоны по той же причинѣ, по какой легкія тѣла пристаютъ къ заряженной каучуковой палочкѣ. Зарядъ пылинки не будетъ превосходить, въ общемъ, 1 электронъ, ибо зарядъ, уже опредѣленный, отталкиваетъ іоны того же знака. Эренгафтъ и Брольи, независимо другъ отъ друга, провѣрили эти представленія, прослѣживая въ ультрамикроскопѣ движенія заряженныхъ пылинокъ. Величина, вытекающая для N изъ ихъ измѣреній, рявняется $65 . 10^{22}$. Измѣренія эти могутъ быть еще усовершенствованы въ томъ, что касается необходимаго опредѣленія радіуса, пылинокъ, но они кажутся уже болѣе точными, чѣмъ данныя, полученныя при сгущенія пара.

23. Понятіе электрическаго атома было еще расширено, благодаря замѣчательной работѣ Рётсерфорда, которому удалось опредѣлить зарядъ этого атома, а слѣ-

довательно, и постоянную *N*, нѣсколькими различными способами, при помощи наблюденій надъ **радіоактивными** тѣлами.

Извѣстно, что лучи α, исходящіе изъ этихъ тѣлъ, несутъ съ собой положительное электричество.

Рётсерфорду удалось показать, что ихъ вліяніе на электрометръ распадается на рядъ дѣйствій, изъ которыхъ каждое можетъ сообщить отдѣльный импульсъ, отмѣчающій, стало быть, прохожденіе одной несущейся частицы. Съ другой стороны, можно измѣрить (и, вопреки тому, какъ это кажется на первый разъ, послѣднее болѣе трудно) весь зарядъ излученнаго электричества. Получаемый такимъ образомъ зарядъ отдѣльной частицы, будучи равенъ приблизительно удвоенному атомному заряду, найденному выше, даетъ для *N* величину $62 \cdot 10^{22}$. Болѣе точнымъ путемъ, другими опытами, которые я не могу изложить здѣсь хотя бы кратко,—Рётсерфордъ показалъ, что частицы α слѣдуетъ считать двувалентными атомами гелія.

Другое вычисленіе основывается, съ одной стороны, какъ и предыдущее, на знаніи числа частицъ α, испускаемыхъ въ секунду однимъ граммомъ радія (по Рётсерфорду $3{,}4 \cdot 10^{10}$), а съ другой стороны,—на знаніи массы гелія, которая получается при постоянномъ превращеніи радія (масса эта тщательно измѣрена Дьюаромъ); здѣсь непосредственно узнается *N* число атомовъ, образующихъ граммъ—атомъ гелія. Это новое вычисленіе, какъ замѣтилъ Муленъ, даетъ для *N* величину $\mathbf{71 \cdot 10^{22}}$, тождественную съ той, какую дало мнѣ изученіе Броуновскаго движенія. Это чрезвычайное согласіе результатовъ, при столь глубоко различныхъ путяхъ,—тѣмъ болѣе поразительно, что результаты эти абсолютно не могли воздѣйствовать другъ на друга, такъ какъ данное вычисленіе было произведено уже послѣ опубликованія моихъ изслѣдованій.

Зная, какая доля данной массы радія исчезаетъ въ одну секунду вслѣдствіе превращенія (по Болтвуду [Boltwood], $1{,}09.10^{-10}$), мы снова встрѣчаемъ въ точности то же самое число, если пишемъ, что число $226{,}5.3{,}4.10^{10}$ частицъ, испускаемыхъ въ секунду граммъ—атомомъ равно, приблизительно, числу $N.\ 1{,}09.10^{-10}$ атомовъ радія, разрушающихся за тотъ же промежутокъ времени. Вычисленіе даетъ отсюда для N величину $70{,}6.10^{22}$.

24. Наконецъ, не менѣе удивительнымъ покажется и то, что почти тѣ же самыя числа получаются, если исходить изъ измѣреній, относящихся къ **лучеиспусканію черныхъ тѣлъ**, согласно теоріямъ, установленнымъ Планкомъ и Лоренцомъ. Я скажу здѣсь только нѣсколько словъ о сравнительно болѣе простомъ пути, которымъ шелъ Лоренцъ.

Извѣстно, что кинетическая теорія металловъ признаетъ, какъ основную гипотезу, существованіе во всякомъ металлѣ электрическихъ тѣлецъ, которыя движутся въ металлѣ во всѣхъ направленіяхъ, подобно молекуламъ какого-либо газа, и съ такой же, какъ у этихъ молекулъ, средней кинетической энергіей. Это расширеніе положенія о равномѣрномъ распредѣленіи энергіи было оправдано тѣмъ фактомъ, что, допустивъ такое расширеніе, Друде могъ точно вычислить отношеніе между электропроводностью и теплопроводностью.

Принявъ эту гипотезу, Лоренцъ замѣчаетъ, что, согласно извѣстному закону электромагнитизма, эти тѣльца излучаютъ энергію всякій разъ, какъ мѣняется ихъ скорость, и, по мнѣнію Лоренца, это излученіе и есть какъ разъ тотъ свѣтъ, какой испускаетъ металлъ при разсматриваемой температурѣ. Математическій анализъ такого воззрѣнія даетъ изслѣдователю возможность вычислить въ функціяхъ N и для большихъ длинъ волны, какая доля энергіи темнаго излученія оказывается за-

ключенной между двумя опредѣленными длинами волны. Но эта энергія можетъ быть непосредственно измѣрена; изъ этихъ измѣреній, еще несовершенныхъ, Лоренцъ выводитъ для N величину **66.10²²**.

25. Не лишнимъ будетъ привести таблицу, въ которой собраны среднія величины N, найденныя изъ наблюденій различныхъ явленій; данныя этой таблицы образуютъ въ своемъ цѣломъ самое прочное основаніе для того, что могло бы быть названо **принципомъ молекулярной реальности**.

Ни въ одномъ случаѣ отклоненіе отъ найденной величины 70.10^{22} не достигаетъ тѣхъ размѣровъ, какіе были бы позволительны въ виду ненадежности измѣреній, присущей изучаемому явленію.

	Изслѣдованныя явленія.	*Постоянная N.*
Вязкость газовъ, принимая во вниманіе:	плотность жидкости . . .	$> 45.10^{22}$
	діэлектрическую способность газа	$< 200.10^{22}$
	законъ Ванъ-деръ-Ваальса .	60.10^{22}
Броуновское движеніе.	Распредѣленіе зеренъ . . .	**70,5**.10^{22}
	Поступательное движеніе .	**71,5**.10^{22}
	Вращательное движеніе . .	**65**.10^{22}
Диффузія растворенныхъ тѣлъ (точность средняя)		65.10^{22}
Подвижность іоновъ въ водѣ (точность средняя).		100.10^{22}
Синева неба (точность средняя, но можетъ улучшиться)		90.10^{22}
Заряды іоновъ въ газахъ.	Капельки, сгустившіяся вокругъ іоновъ	75.10^{22}
	Іоны, приставшіе къ тонкимъ пылинкамъ	65.10^{22}

Лучи α	Зарядъ каждой несущейся частицы	**62**.10^{22}
	Продолжительность существованія радія	**70,5**.10^{22}
	Гелій, выдѣляемый при превращеніи радія . . .	**71**,10^{22}

Энергія инфра-краснаго спектра . . . . 66.10^{22}

Мнѣ кажется невозможнымъ, чтобы умъ, свободный отъ предразсудковъ, не испыталъ сильнѣйшаго впечатлѣнія при мысли о чрезвычайномъ разнообразіи явленій, которыя такъ точно стремятся дать одно и то же число, тогда какъ для *каждаго изъ этихъ явленій,* руководясь только молекулярной теоріей, можно было бы ожидать *любой величины, заключенной между нулемъ и безконечностью.* Отнынѣ уже будетъ трудно защищать разумными аргументами враждебное отношеніе къ молекулярнымъ гипотезамъ. Эти гипотезы овладѣютъ мало-по-малу всѣми умами, и настанетъ время, когда къ основному принципу атомистическаго ученія будутъ относиться съ такой же вѣрой, какъ и къ принципамъ энергетики. Я, впрочемъ, никогда не видѣлъ необходимости, противопоставлять эти два великихъ ученія одно другому какъ дѣлали это другіе. Я думаю, что объединеніе этихъ теорій, которое завершится въ ближайшемъ будущемъ обезпечитъ ихъ обоюдное торжество и откроетъ передъ наукой путь къ новымъ завоеваніямъ.

Перевелъ Н. В. Горкинъ.

Э. Рӧтсерфордъ.[1])

Современное состояніе атомической теоріи въ физикѣ.

Цѣлью моего сегодняшняго доклада является освѣтить въ немногихъ словахъ современное состояніе атомической теоріи въ физикѣ и вкратцѣ разсмотрѣть различные методы, придуманные для опредѣленія нѣкоторыхъ основныхъ атомическихъ величинъ.

Настоящій моментъ, кажется мнѣ, какъ нельзя лучше подходитъ для этого: быстрый прогрессъ физики за послѣднее десятилѣтіе не только далъ намъ болѣе ясное понятіе о взаимоотношеніи между электричествомъ и матеріей и о строеніи атома, но снабдилъ насъ также такими экспериментальными методами и средствами, о которыхъ намъ и не снилось еще нѣсколько лѣтъ тому назадъ. Въ моментъ, когда умственному оку физика атмосфера представляется затемненной носящимися въ ней обломками атома, вполнѣ умѣстно, по моему мнѣнію, посмотрѣть, какъ обстоитъ дѣло съ самими атомами, и подвергнуть тщательному анализу ту атомическую основу, на которой возведено зданіе современнаго естествознанія. Ни одинъ физикъ или химикъ не

---

[1]) Рѣчь, произнесенная при открытіи секціи физики на собраніи Британской ассоціаціи въ Уиннипегѣ (Winnipeg) въ Канадѣ. Авг. 1909 г.

можетъ закрыть глаза передъ той огромной ролью, какую въ настоящее время играетъ въ наукѣ атомическая гипотеза. И дѣйствительно, идея, что матерія состоитъ изъ большого числа отдѣльныхъ малыхъ частицъ, является основой для объясненія всѣхъ свойствъ матеріи.

Интереснымъ показателемъ важности этой теоріи для прогресса естествознанія являются протоколы засѣданій нашихъ съѣздовъ: изъ нихъ можно убѣдиться, сколько докладовъ, частью или цѣликомъ, были посвящены этой темѣ. Изъ большого числа я отмѣчу прежде всего великолѣпную, часто цитируемую, лекцію Максвеля о молекулахъ, читанную въ Брэдфордѣ въ 1873 г.; разборъ кинетической теоріи газовъ лорда Кельвина; затѣмъ рѣчь сэра Уильяма Томсона въ Монтреалѣ въ 1884 г., и, наконецъ, предсѣдательское обращеніе сэра Артсера Рюккера въ 1901 г., которое многіе изъ присутствующихъ здѣсь навѣрное еще помнятъ.

Я далекъ отъ намѣренія подробно описать вамъ возникновеніе и постепенное развитіе атомической теоріи; сдѣлаю это только въ самыхъ краткихъ чертахъ. Съ точки зрѣнія современнаго естествознанія начало атомической теоріи было положено трудомъ Дальтона, который выставилъ эту гипотезу для объясненія закона кратныхъ отношеній. Простота объясненія при помощи атомической теоріи явленій химіи очень скоро заставила всѣхъ признать ее весьма удобной и цѣнной рабочей гипотезой. Работы химиковъ показали, что матерія составлена изъ нѣкотораго числа элементарныхъ веществъ, которыя лабораторными срествами далѣе разложены быть не могутъ, и для этихъ элементовъ были опредѣлены относительные атомные вѣса. Въ физикѣ цѣнность такого взгляда на матерію значительно увеличилась послѣ того, какъ, благодаря работамъ Клаузіуса и Клэрка Максвеля, получила математическое развитіе

кинетическая теорія газовъ. Было показано, что свойства газовъ могутъ быть удовлетворительно объяснены, если принять, что газъ представляетъ совокупность большого числа малыхъ частицъ—молекулъ,—находящихся постоянно въ движеніи и сталкивающихся другъ съ другомъ и со стѣнками окружающаго ихъ сосуда. Въ промежуткахъ между столкновеніями молекулы движутся прямолинейно, и длина свободнаго пути между двумя послѣдовательными столкновеніями велика по сравненію съ линейными размѣрами самихъ молекулъ. Нельзя не удивляться тому, съ какимъ успѣхомъ эта статистическая теорія объясняла общія свойства газовъ и даже предсказывала совершенно неожиданныя соотношенія. Значеніе и въ то же время предѣлъ этой теоріи заключается въ томъ, что она не заставляетъ дѣлать никакихъ опредѣленныхъ предположеній ни о природѣ самихъ молекулъ, ни о силахъ, дѣйствующихъ между ними. Можно, напримѣръ, молекулу разсматривать, какъ вполнѣ упругую сферу, или можно, какъ обыкновенно дѣлалъ лордъ Кельвинъ, считать ее силовымъ центромъ (Босковичъ)—и въ томъ, и въ другомъ случаѣ, при соотвѣтствующихъ добавочныхъ предположеніяхъ, у газа обнаруживаются одни и тѣ же статистическія свойства. Такимъ образомъ, безъ спеціальныхъ вспомогательныхъ гипотезъ мы не въ состояніи вывести изъ атомической теоріи хоть сколько-нибудь важныя заключенія о природѣ самихъ молекулъ.

Къ концу прошлаго столѣтія идеи атомической гипотезы пропитали очень большую область физики и химіи. Представленіе объ атомахъ дѣлалось все болѣе и болѣе конкретнымъ. Образъ атома, существовавшій въ воображеніи, былъ надѣленъ размѣрами и формой и въ нѣкоторыхъ случаяхъ безсознательно даже цвѣтомъ. Простота и польза атомическихъ воззрѣній при объясненіи самыхъ различныхъ явленій физики и хи-

міи естественно подняли авторитетъ этой теоріи въ глазахъ научныхъ работниковъ. Появилась тенденція разсматривать атомическую гипотезу, уже не какъ полезную рабочую гипотезу, для которой очень трудно найти непосредственныя и убѣдительныя доказательства, а какъ одинъ изъ твердо обоснованныхъ фактовъ природы. Но также не было и недостатка въ ученыхъ и философахъ, которые указывали на необоснованность этой теоріи, на которой, однако, было построено такъ много. Можно согласиться съ полезностью идеи о молекулахъ для объясненія данныхъ опытовъ; но какая у насъ увѣренность въ томъ, что атомы дѣйствительно существуютъ, а не представляютъ только фикцію—плодъ нашей фантазіи? Нужно, впрочемъ, сказать, что этотъ недостатокъ непосредственныхъ доказательствъ отнюдь не поколебалъ вѣру громаднаго большинства людей науки въ зернистое строеніе матеріи. Однако, вполнѣ естественно, что могла въ нѣкоторыхъ кругахъ появиться реакція противъ господства атомической гипотезы въ физикѣ и химіи. Возникла школа, которая хотѣла покончить съ атомической теоріей въ качествѣ основы химіи и замѣнить ее закономъ кратныхъ отношеній. Это движеніе нашло себѣ опору въ возможности объяснить многія химическія явленія съ помощью одной термодинамики, не прибѣгая вовсе къ гипотезамъ о частичномъ строеніи матеріи. Нужно признать огромную важность такихъ общихъ методовъ, но мало найдется людей, которые въ состояніи мыслить хоть сколько-нибудь правильно, исключительно въ образахъ термодинамики. Отрицаніе атомической теоріи никогда еще не способствовало и не будетъ способствовать открытію новыхъ фактовъ. Большимъ преимуществомъ атомической теоріи является то, что она даетъ намъ, такъ сказать, ощутимое, конкретное представленіе о матеріи, которое не только служитъ намъ для объясненія мно-

жества явленій, но оказываетъ также громадныя услуги, какъ рабочая гипотеза. Для огромнаго большинства ученыхъ недостаточно сгруппировать большое число фактовъ вокругъ общихъ отвлеченныхъ принциповъ. Имъ нужно конкретное представленіе,—хотя бы грубое,—о механизмѣ явленій. Это, можетъ быть, является слабостью способа мышленія ученыхъ, но это одна изъ тѣхъ слабостей, которыя заслуживаютъ нашего сочувствія. Такой способъ мышленія, какъ я полагаю, вполнѣ отвѣчаетъ англосаксонскому темпераменту; въ основѣ его, безъ сомнѣнія, лежитъ идея, что явленія природы въ концѣ концовъ могутъ быть объяснены на основаніи общихъ динамическихъ принциповъ, и что, слѣдовательно, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ можетъ быть найденъ типъ механизма, отвѣчающаго наблюдаемому явленію.

Долгое время рѣшающее доказательство атомическаго строенія вещества считалось всѣми невозможнымъ по самому существу дѣла, и по общему мнѣнію, атомическая теорія должна была, по необходимости, остаться гипотезой, которую нельзя провѣрить никакими непосредственными опытами. Но недавнія изслѣдованія открыли такія могущественныя новыя средства для рѣшенія этой задачи, что въ настоящее время позволительно задать вопросъ, не имѣемъ ли мы теперь болѣе рѣшительныхъ доказательствъ вѣрности этой теоріи.

Такъ какъ молекулы невидимы, то можетъ показаться несбыточной надеждой придумать опытъ, который показалъ бы, что молекулы жидкости дѣйствительно находятся въ состояніи постояннаго движенія, какъ заставляетъ насъ предположить кинетическая теорія. Но по поводу этого я хочу вкратцѣ обратить ваше вниманіе на весьма поразительное явленіе—на Броуновское движеніе, которое въ послѣднее время было весьма тща-

тельно изучено. Это явленіе необыкновенно интересно, если даже оставить въ сторонѣ его вѣроятное объясненіе. Въ 1827 г. англійскій ботаникъ Броунъ съ помощью микроскопа сдѣлалъ наблюденіе, что мелкія частички, какъ, напримѣръ, споры растеній, введенныя въ какую-либо жидкость, все время находятся въ состояніи непрерывнаго движенія: онѣ съ значительною скоростью бѣгаютъ по различнымъ направленіямъ. Долгое время это Броуновское движеніе приписывалось неравномѣрному распредѣленію температуры въ растворѣ. Но такое объясненіе было опровергнуто многими позднѣйшими изслѣдованіями, въ особенности, работами Гуи (Gouy), которыя показали, что эти движенія носятъ характеръ скачковъ, что они никогда не прекращаются, и что они наблюдаются во всякаго рода очень мелкихъ частицахъ, погруженныхъ въ жидкую среду. Скорость движенія увеличивается съ уменьшеніемъ діаметра частицъ и съ увеличеніемъ температуры и зависитъ отъ вязкости жидкости. Изобрѣтеніе ультрамикроскопа дало возможность подробнѣе прослѣдить Броуновское движеніе и работать съ гораздо меньшими частицами. Экснеръ и Жигмонди (Exner und Zsigmondy) изслѣдовали среднюю скорость частицъ извѣстнаго діаметра въ различныхъ растворахъ, а Сведбергъ придумалъ остроумный методъ для опредѣленія средняго свободнаго пробѣга и средней скорости частицъ различныхъ размѣровъ. Опыты Эренгафта въ 1907 г. показали, что Броуновское движеніе не ограничивается однѣми только жидкостями, а наблюдается также,—и еще гораздо рѣзче,—въ малыхъ частицахъ, подвѣшенныхъ въ какомъ-либо газѣ. Съ помощью вольтовой дуги между серебряными электродами онъ получалъ въ воздухѣ мельчайшую серебряную пыль. При наблюденіи съ помощью ультрамикроскопа, подвѣшенныя въ воздухѣ пылинки обнаружили характерное Броуновское движеніе съ тою только разницею, что длина средняго

пути для частичекъ, суспендированныхъ въ газахъ, больше, чѣмъ для частичекъ тѣхъ же размѣровъ въ жидкостяхъ.

Частички обнаруживаютъ въ общемъ движеніе такого же характера, какое кинетическая теорія приписываетъ молекуламъ, хотя даже самыя мелкія изъ частицъ, надъ которыми производились наблюденія, имѣли массу несомнѣнно очень большую по сравненію съ молекулами. Характеръ Броуновскаго движенія неотразимо влечетъ изслѣдователя къ мысли, что зернышки бросаются въ различныя стороны силами, исходящими изъ жидкости, которыя могутъ быть слѣдствіями только постояннаго и непрерывнаго движенія невидимыхъ молекулъ ея. Смолуховскій и Эйнштейнъ предложили объясненія, основанныя на кинетической теоріи, и опытныя данныя хорошо согласуются съ вычисленными ими величинами. Дальнѣйшее сильное подтвержденіе этотъ взглядъ находитъ въ новѣйшихъ опытахъ Перрэна (Perrin, 1909 г.). Этотъ ученый приготовилъ въ водѣ эмульсію изъ гуммигута, которая состояла изъ большого числа шарообразныхъ частичекъ приблизительно одинаковыхъ размѣровъ, показывавшихъ характерное Броуновское движеніе. Частички подъ вліяніемъ силы тяжести опускались до различной глубины; когда наступало равновѣсіе, Перрэнъ изслѣдовалъ распредѣленіе частицъ въ слояхъ различной глубины, непосредственно считая ихъ подъ микроскопомъ. Оказалось, что число частичекъ въ слоѣ уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ дна сосуда по закону, выражающемуся показательной функціей, т. е. по тому же закону, по какому убываетъ давленіе атмосферы по мѣрѣ удаленія отъ поверхности земли. Только въ этомъ случаѣ, вслѣдствіе большой массы частицъ гуммигута, все ихъ количество было распредѣлено въ слоѣ, толщиною всего въ долю миллиметра. Такъ, напримѣръ, въ одномъ изъ опытовъ

Перрэна, число частицъ уменьшалось вдвое на разстоянiи 0,038 миллиметровъ, подобное же въ атмосферѣ происходитъ лишь на разстоянiи отъ поверхности земли, равномъ 6.000 метрамъ. Опредѣливъ дiаметръ и массу каждой частички, Перрэнъ нашелъ, что въ предѣлахъ ошибокъ наблюденiя—законъ распредѣленiя частицъ въ слояхъ различной глубины показываетъ, что каждая частица обладаетъ той же кинетической энергiей, какъ и молекула жидкости, въ которой она подвѣшена; и подвѣшенныя частицы на самомъ дѣлѣ вели себя во всѣхъ отношенiяхъ какъ молекулы съ очень большимъ молекулярнымъ вѣсомъ. Это очень важный результатъ, такъ какъ изъ него явствуетъ, что законъ распредѣленiя энергiи между молекулами различной массы,—важное слѣдствiе кинетической теорiи газовъ,—по крайней мѣрѣ, съ большимъ приближенiемъ оправдывается для всякихъ распредѣленныхъ въ средѣ частицъ, хотя бы масса и размѣръ ихъ были очень велики по сравненiю съ молекулами среды. Въ чемъ бы ни заключалось подлинное объясненiе этого явленiя, врядъ ли можно сомнѣваться въ томъ, что основной причиной его является движенiе молекулъ жидкости, и такимъ образомъ оно является поразительнымъ, хотя немного косвеннымъ, подтвержденiемъ правильности кинетической теорiи матерiи.

Новѣйшiя изслѣдованiя въ области радiоактивности даютъ намъ возможность освѣтить вопросъ съ другой стороны, новымъ, гораздо болѣе непосредственнымъ способомъ. Всѣмъ извѣстно, что α-лучи радiя отклоняются какъ въ электрическомъ, такъ и магнитномъ полѣ. Изъ этого обстоятельства можно вывести заключенiе, что эти лучи имѣютъ частичное строенiе, а именно, что они состоятъ изъ потока положительно заряженныхъ частицъ, выбрасываемыхъ съ громадной скоростью радiемъ. Измѣряя отклоненiе α-лучей при

прохожденіи черезъ электрическія и магнитныя поля, опредѣлили отношеніе $\frac{e}{m}$ заряда каждой частицы къ массѣ ея. Полученныя числа показываютъ, что эти частички имѣютъ размѣры атома.

Рётсерфордъ и Гейгеръ недавно опубликовали новый методъ, непосредственно подтверждающій то, на что указывали и другіе методы, а именно, что α-лучи прерывны. Особымъ электрическимъ способомъ удается установить прохожденіе отдѣльной α-частицы въ соотвѣтствующимъ образомъ подобранный сосудъ: вступленіе каждой α-частицы черезъ маленькое отверстіе внутрь этого сосуда было отмѣчено внезапнымъ движеніемъ стрѣлки электрометра, которымъ пользовались для измѣреній. Такимъ образомъ, стало возможнымъ непосредственнымъ подсчетомъ отдѣльныхъ сообщенныхъ электрометру толчковъ опредѣлить число α-частицъ, выбрасываемыхъ въ теченіе 1 секунды однимъ граммомъ радія. Результатъ, полученный такимъ образомъ, мы можемъ провѣрить, производя счетъ α-частицъ совершенно другимъ способомъ. Сэръ Уильямъ Круксъ показалъ, что когда α-лучи падаютъ на фосфоресцирующій экранъ изъ сѣрнистаго цинка, то на немъ наблюдается рядъ мелькающихъ свѣтлыхъ точекъ (сцинтилляцій). Кажется, какъ будто каждая α-частица, ударяясь объ экранъ, производитъ въ данной точкѣ его искорку свѣта. Пользуясь подходящими экранами, можно съ помощью микроскопа сосчитать число мельканій (сцинтилляцій), наблюдаемыхъ въ продолженіи одной секунды на данной поверхности. Оказалось, что число мельканій, опредѣленныхъ такимъ путемъ, равно числу ударяющихъ объ экранъ α-частицъ, сосчитанныхъ электрическимъ способомъ. Это доказываетъ, что ударъ каждой α-частицы объ сѣрнистый цинкъ производитъ видимую искорку. Мы имѣемъ, слѣдовательно,

два различныхъ метода,—одинъ электрическій, другой оптическій, чтобы прослѣдить испусканіе радіемъ отдѣльной α-частицы. Слѣдующій вопросъ, которымъ намъ надо заняться, это вопросъ о природѣ самихъ α-частицъ. Всѣ данныя за то, что α-частица представляетъ собой заряженный атомъ гелія; этотъ взглядъ рѣшительно подтвержденъ опытами Рӧтсерфорда и Ройдса, которые показали что въ пустомъ пространствѣ, въ которое влетаютъ α-частицы, появляется гелій. Образующійся изъ радія гелій обязанъ своимъ происхожденіемъ α-частицамъ, которыя непрерывно выбрасываются радіемъ. Измѣряя количество производимаго радіемъ гелія, мы получаемъ возможность непосредственно опредѣлить, сколько нужно α-частицъ, чтобы образовать опредѣленный объемъ газа. Это количество недавно было точно измѣрено сэромъ Джэмсомъ Дьюаромъ. Какъ онъ сообщилъ мнѣ, его послѣднія измѣренія показали, что одинъ граммъ радія въ состояніи радіоактивнаго равновѣсія производитъ 0,46 куб. миллиметровъ гелія за день, или $5{,}32.10^{-6}$ куб. миллим. въ секунду. Непосредственнымъ же подсчетомъ по указаннымъ методамъ установлено, что одинъ граммъ радія въ состояніи равновѣсія выбрасываетъ $13{,}6.10^{10}$ α-частицъ. Слѣдовательно, требуется $2{,}56.10^{19}$ α-частицъ, чтобы образовать одинъ куб. сантиметръ гелія при нормальныхъ давленіи и температурѣ.

Но съ другой стороны, доказано, что всѣ α-частицы, каковъ бы ни былъ ихъ источникъ, тождественны по массѣ и строенію. Это даетъ намъ основаніе предположить, что α-частицы, которыя во время своего полета существуютъ какъ отдѣльные индивидуумы, остатнутся такими же отдѣльными индивидуумами и тогда, когда онѣ соберутся вмѣстѣ и образуютъ измѣримый объемъ гелія, или, другими словами, что α-частица, потерявшая свой зарядъ, превращается въ элемен-

тарное количество, или въ атомъ гелія. Въ случаѣ одноатомнаго газа, какъ гелій, въ которомъ молекулы считаются тождественными съ атомами, отпадаютъ всѣ тѣ затрудненія для нашихъ выводовъ, какія могло бы представить соединеніе двухъ или нѣсколькихъ атомовъ въ сложную молекулу.

Изъ всѣхъ этихъ опытовъ мы, слѣдовательно, заключаемъ, что куб. сантиметръ гелія при нормальныхъ давленіи и температурѣ содержитъ $2{,}56.10^{19}$ атомовъ. Такъ какъ плотность гелія извѣстна, то мы сейчасъ выводимъ, что масса каждаго атома гелія равняется $6.8.10^{-24}$ грамма, и что среднее взаимное разстояніе молекулъ въ газообразномъ состояніи при нормальныхъ давленіи и температурѣ составляетъ $3{,}4.10^{-7}$ см.

Эти результаты могутъ быть подтверждены другимъ путемъ. Извѣстно, что значеніе $\frac{e}{m}$ для α-частицы составляетъ 5070 электромагнитныхъ единицъ. Несомый каждой α-частицей положительный зарядъ опредѣленъ измѣреніемъ всего заряда, несомаго большимъ, но извѣстнымъ числомъ α-частицъ. Этотъ зарядъ равняется $9{,}3 \times 10^{-10}$ электростатическихъ единицъ или $3{,}1 \times 10^{-20}$ электромагнитныхъ единицъ. Подставивъ послѣднее число въ выраженіе $\frac{e}{m}$, мы находимъ, что масса α-частицы равна $6{,}1 \times 10^{-24}$ гр.—число, хорошо совпадающее съ даннымъ раньше.

Я надѣюсь, что на мое сужденіе не оказываетъ вліянія то обстоятельство, что я принималъ нѣкоторое участіе въ этихъ изслѣдованіяхъ; эти опыты, если разсматривать ихъ во всей совокупности, представляютъ, какъ кажется мнѣ, почти прямое и вполнѣ убѣдительное подтвержденіе атомической гипотезы. Прямымъ подсчетомъ установлено число тождественныхъ между собою индивидуумовъ, необходимыхъ для образованія

опредѣленнаго объема газа. Развѣ непозволительно сдѣлать отсюда выводъ, что газъ обладаетъ не непрерывнымъ строеніемъ, и что приведенное число представляетъ дѣйствительное число атомовъ въ газѣ?

Мы видимъ, что при опредѣленныхъ условіяхъ легко электрическимъ методомъ прослѣдить испусканіе каждой отдѣльной α-частицы, т. е. отдѣльнаго заряженнаго атома матеріи. Сдѣлать это возможно благодаря большой скорости и энергіи выброшенныхъ α-частицъ, дающихъ ей силу диссоціировать, или іонизировать газъ, через который она проходитъ. Очевидно, открыть присутствіе отдѣльнаго атома возможно только тогда, когда онъ обладаетъ однимъ какимъ-нибудь особымъ свойствомъ или нѣсколькими такими свойствами, благодаря которымъ онъ и выдѣляется изъ окружающаго его газа. Такъ, имѣется важный и замѣчательный способъ, посредствомъ котораго можно отличить глазомъ отъ обыкновенныхъ молекулъ газа іоны, произведенные въ немъ различными агентами: Уильсонъ (C. T. R. Wilson) въ 1897 г. показалъ, что при извѣстныхъ условіяхъ каждый іонъ дѣлается центромъ конденсаціи водяного пара, такъ что присутствіе каждаго іона становиться видимымъ. Сэръ Джозефъ Томсонъ, Г. А. Уильсонъ и другіе воспользовались этимъ методомъ, чтобы опредѣлить число имѣющихся іоновъ и величину заряда каждаго изъ нихъ.

Теперь я освѣщу нѣсколькими примѣрами старые способы для оцѣнки массы и размѣровъ молекулъ. Какъ только идея прерывнаго строенія матеріи заняла прочную позицію, естественно появилось стремленіе оцѣнить степень мелкозернистости матеріи и составить себѣ понятіе о размѣрахъ молекулъ, предполагая, что онѣ обладаютъ протяженностью. Лордъ Рэлей обратилъ вниманіе на то, что первое опредѣленіе такого рода было сдѣлано Томасомъ Юнгомъ въ 1805, на основаніи

соображеній, вытекающихъ изъ теоріи капиллярности. Недостатокъ мѣста не позволяетъ мнѣ разсмотрѣть тѣ многочисленные и разнообразные способы, которые послѣ этого были примѣнены для выясненія толщины матеріальныхъ пленокъ, обладающихъ молекулярнымъ строеніемъ. Эта фаза вопроса была всегда излюбленной темой лорда Кельвина, который и придумалъ нѣсколько очень важныхъ методовъ для выясненія вѣроятныхъ размѣровъ молекулярныхъ структуръ.

Математическое развитіе кинетической теоріи газовъ сразу повлекло за собою появленіе различныхъ методовъ для оцѣнки числа молекулъ въ кубич. сантиметрѣ какого-либо газа при нормальномъ давленіи и температурѣ. Это число, которое мы въ дальнѣйшемъ будемъ обозначать буквою N, является основной постоянной для газовъ: по закону Авогадро, а также согласно кинетической теоріи газовъ, въ одинаковыхъ объемахъ различныхъ газовъ при нормальныхъ давленіи и температурѣ заключается одинаковое число молекулъ. Зная значеніе N, можно приблизительно опредѣлить діаметръ молекулъ; но такъ какъ мы ничего не знаемъ о строеніи молекулъ, то терминъ „діаметръ“ является немного неопредѣленнымъ. Обыкновенно относятъ понятіе діаметра къ сферѣ дѣйствія частичныхъ силъ, окружающую молекулу. Этотъ діаметръ не долженъ быть необходимо однимъ и тѣмъ же для молекулъ всѣхъ газовъ и поэтому лучше разсматривать величину основной постоянной N. Первыя опредѣленія, основанныя на кинетической теоріи газовъ, были сдѣланы Лошмидтомъ, Джонстономъ, Стонеемъ и Максвеллемъ. На основаніи имѣющихся въ то время въ его распоряженіи данныхъ, послѣдній нашелъ для N число $1,9 \times 10^{19}$. Мейеръ въ своей книгѣ „Кинетическая теорія газовъ“ критикуетъ на основаніи этой теоріи различные методы для опредѣленія размѣровъ

молекулъ и приходитъ къ заключенію, что самымъ вѣроятнымъ значеніемъ для N является $6{,}1 \times 10^{19}$.

Опредѣленія N на основаніи кинетической теоріи газовъ представляютъ только приближенія и во многихъ случаяхъ служатъ только для установленія нижняго или верхняго предѣла числа молекулъ. Все же эти опредѣленія имѣютъ значительный интересъ и большое историческое значеніе, такъ какъ они долгое время служили самымъ надежнымъ средствомъ для выработки представленія о молекулярныхъ величинахъ.

Очень интересный способъ для опредѣленія величины N далъ въ 1899 г. лордъ Рэлей; этотъ способъ вытекаетъ изъ развитой лордомъ Рэлеемъ теоріи синяго цвѣта неба, основанной на гипотезѣ, что молекулы воздуха разсѣиваютъ падающія на нихъ свѣтовыя волны. Это свѣторазсѣяніе для частицъ, малыхъ по сравненію съ длинами свѣтовыхъ волнъ обратно пропорціонально четвертой степени длины волны; такимъ образомъ отношеніе разсѣяннаго свѣта къ падающему гораздо больше для фіолетоваго конца спектра, чѣмъ для краснаго, и потому небо, которое мы видимъ только благодаря разсѣянному свѣту, кажется намъ синимъ. Разсѣяніе свѣта при прохожденіи черезъ атмосферу производитъ измѣненія яркости звѣздъ въ зависимости отъ ихъ высоты, и эти ослабленія яркости были опредѣлены экспериментально.

Зная же величину ослабленія яркости, можно на основаніи теоріи Рэлея вычислить и N, т.-е. число молекулъ въ единицѣ объема. Изъ *имѣвшихся тогда* данныхъ лордъ Рэлей вывелъ, что N не меньше 7.10^{18}. Лордъ Кельвинъ въ 1902 г. снова вычислилъ значеніе N на основаніи этой теоріи, пользуясь болѣе новыми и точными данными; онъ нашелъ число $2{,}47 \times 10^{19}$. Такъ какъ въ этой упрощенной теоріи не принято во вниманіе разсѣяніе свѣта отъ подвѣшенныхъ мелкихъ

частицъ пыли, которыя, безъ сомнѣнія, имѣются въ атмосферѣ, то этимъ методомъ можно только установить нижній предѣлъ для числа *N*. Очень трудно точно оцѣнить поправку, вызываемую этимъ обстоятельствомъ, но мы увидимъ, что неисправленное число, полученное лордомъ Кельвиномъ, немногимъ меньше числа $2{,}77 \times 10^{19}$, наиболѣе вѣроятнаго изъ данныхъ, полученныхъ позже. Если считать теорію и примѣненныя данныя вѣрными, то это показываетъ, что разсѣяніе, производимое подвѣшенными въ атмосферѣ частицами, представляетъ только малую часть всего свѣторазсѣянія, производимаго молекулами воздуха. Это является интереснымъ примѣромъ того, какъ точное знаніе числа *N* можетъ содѣйствовать выясненію неизвѣстныхъ величинъ.

Теперь мы должны разсмотрѣть нѣкоторое изъ болѣе новыхъ и непосредственныхъ методовъ для нахожденія *N*, которые основаны на новыхъ обогащеніяхъ нашихъ научныхъ знаній. Эти новые методы даютъ намъ возможность опредѣлить *N* съ большею точностью и увѣренностью, чѣмъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ.

Мы уже раньше коснулись изслѣдованій Перрэна о законѣ распредѣленія въ жидкости большого числа мелкихъ зеренъ и его доказательства, что эти зерна ведутъ себя, какъ молекулы съ большимъ молекулярнымъ вѣсомъ. Значеніе величины *N* можетъ быть выведено непосредственно изъ результатовъ его опытовъ, и такимъ путемъ найдено, что *N* равно $3{,}14 \times 10^{19}$. Методъ, развитый Перрэномъ, весьма оригиналенъ и остроуменъ; онъ кромѣ того очень важенъ, такъ какъ бросаетъ свѣтъ на законъ распредѣленія энергіи. Этотъ новый способъ разрѣшенія фундаментальныхъ проблемъ, безъ сомнѣнія, въ будущемъ получитъ еще дальнѣйшее развитіе.

Выше было указано, что значеніе $N = 2{,}56 \times 10^{19}$ было получено непосредственнымъ счетомъ частицъ и опре-

дѣленіемъ соотвѣтствующаго объема гелія, полученнаго изъ нихъ. Другой очень простой способъ опредѣленія N изъ радіоактивныхъ данныхъ основанъ на процессѣ превращенія радія. Болтвудъ показалъ непосредственнымъ опытомъ, что радій подвергается распаду въ количествѣ половины своей массы въ теченіе 2000 лѣтъ. Отсюда слѣдуетъ, что вначалѣ изъ одного грамма радія исчезаетъ въ продолженіи года 0,346 миллиграммовъ. Но способомъ непосредственнаго подсчета уставлено, что однимъ граммомъ радія въ секунду выбрасывается $3,4\times10^{-10}$ α-частицъ и всѣ данныя за то, что распадъ каждаго атома сопровождается появленіемъ одной α-частицы. Слѣдовательно, число α-частицъ, выброшенныхъ за годъ, является мѣрой числа атомовъ, заключающихся въ 0,346 миллиграммахъ. Отсюда слѣдуетъ, что въ граммѣ радія содержится $3,1\times10^{21}$ атомовъ, и, полагая атомный вѣсъ радія равнымъ 226, можно весьма просто вычислить, что $N=3,1\times10^{19}$.

Изученіе свойствъ іонизированныхъ газовъ привело въ послѣдніе годы къ открытію цѣлаго ряда важныхъ методовъ для опредѣленія заряда іоновъ, образовавшихся въ газахъ, отъ дѣйствія α-лучей или другихъ лучей радіоактивныхъ веществъ. По современнымъ взглядамъ электричеству такъ же, какъ и матеріи, приписывается прерывное строеніе, и количество электричества, несомое водороднымъ атомомъ при электролизѣ, считается элементарнымъ количествомъ электричества. Согласно этому взгляду, основанному на вѣскихъ доводахъ, зарядъ, несомый атомомъ водорода, является наименьшей единицей электричества, которую можно получить, и всякое другое количество электричества представляетъ собою кратное этой единицы. Опыты Таунсенда показали, что зарядъ, несомый газъ-іономъ, въ большинствѣ случаевъ равенъ по величинѣ заряду, несомому атомомъ водорода при электролизѣ воды. Измѣ-

ряя количество электричества, необходимое, чтобы выдѣлить при электролизѣ одинъ граммъ водорода, можно вывести, что $N e=1,29 \times 10^{10}$ электростатическихъ единицъ, гдѣ N попрежнему обозначаетъ число молекулъ водорода въ одномъ кубич. сантиметрѣ газа, а e—зарядъ каждаго іона. Если опредѣлить e изъ опыта, то можно изъ этого равенства вычислить N.

Первое непосредственное измѣреніе заряда іона было произведено Тоунсендомъ въ 1897 г. Было найдено, что выдѣляющійся при электролизѣ разбавленной сѣрной кислоты кислородъ вызываетъ во влажномъ воздухѣ появленіе густого облака, составленнаго изъ маленькихъ водяныхъ шариковъ. Каждая изъ этихъ мелкихъ капелекъ является носителемъ заряда отрицательнаго электричества. Размѣръ шариковъ, а слѣдовательно и ихъ вѣсъ былъ выведенъ съ помощью формулы Стокса изъ наблюденій скорости паденія облачка подъ вліяніемъ силы тяжести. Затѣмъ былъ измѣренъ вѣсъ всего облачка, и такимъ образомъ, зная вѣсъ каждой капельки, было найдено ихъ число. Такъ какъ зарядъ всего облака былъ измѣренъ, то можно было вычислить зарядъ e каждой капли. Этимъ методомъ e было найдено равнымъ около $3,0.10^{-10}$ электростатическихъ единицъ. Соотвѣтствующее этому числу значеніе N есть $4,3.\ 10^{19}$.

Мы уже выше коснулись даннаго Уильсономъ (C. T. R. Wilson) метода: каждый іонъ дѣлается виднымъ, благодаря конденсаціи на немъ водяного пара при быстромъ расширеніи влажнаго газа. Этимъ свойствомъ воспользовался сэръ Джозефъ Томсонъ для измѣренія заряда e, несомаго каждымъ іономъ. Когда расширеніе газа превышаетъ опредѣленную величину, вода сгущается какъ на отрицательныхъ, такъ и на положительныхъ іонахъ, и появляется густое облачко изъ мелкихъ водяныхъ капель. Дж. Дж. Томсонъ нашелъ $e=3,4\times10^{-10}$, Г. А. Вилсонъ $e=3,1\times10^{-10}$, а Милликэнъ

и Биджемэнъ—$4{,}06 \times 10^{-10}$. Соотвѣтствующія значенія для N суть 3,8, 4,2 и $3{,}2 \times 10^{19}$. Этотъ методъ очень интересенъ и важенъ, такъ какъ даетъ возможность непосредственно сосчитать число іоновъ въ газѣ. Точное же опредѣленіе e по этому методу, къ несчастію, связано съ громадными экспериментальными трудностями.

Моро́ недавно измѣрилъ зарядъ отрицательныхъ іоновъ, образующихся въ пламени. Полученныя имъ для e и N числа были соотвѣтственно $4{,}3 \times 10^{-10}$ и $3{,}0 \times 10^{19}$.

Мы раньше упомянули работу Эренгафта по полученію Броуновскаго движенія въ воздухѣ, обнаруживаемаго ультра-микроскопическими серебряными пылинками. Въ новой работѣ (1909) этотъ ученый показалъ, что каждая изъ такихъ частицъ имѣетъ на себѣ положительный или отрицательный зарядъ. Размѣръ каждой частицы былъ измѣренъ ультрамикроскопомъ, а также вычисленъ на основаніи наблюденной скорости паденія ея подъ вліяніемъ силы тяжести. Зарядъ каждой пылинки былъ найденъ измѣреніемъ массы ея и скорости движенія въ электрическомъ полѣ. Среднее значеніе для e было найдено равнымъ $4{,}6 \times 10^{-10}$, а тогда для N получается число $2{,}74 \times 10^{19}$.

Третій важный методъ опредѣленія N изъ данныхъ радіоактивности былъ данъ Рӧтсерфордомъ и Гейгеромъ въ 1908 г. Зарядъ каждой α-частицы, выбрасываемой радіемъ, находился изъ непосредственнаго измѣренія полнаго заряда заранѣе опредѣленнаго числа α-частицъ. Величина заряда каждой α—частицы была такимъ образомъ найдена равной $9{,}3 \times 10^{-10}$. Изъ соображеній общаго характера съ полной очевидностью вытекало, что каждая α-частица несетъ два элементарныхъ заряда, и такимъ образомъ e получается $= 4{,}65 \times 10^{-10}$ и $N = 2{,}77 \times 10^{19}$. Результаты, полученные этимъ методомъ, заслуживаютъ большого довѣрія, такъ какъ всѣ не-

обходимыя измѣренія могутъ быть произведены непосредственно и точно.

Методы опредѣленія e, разсмотрѣнные до сихъ поръ, были основаны на опытахъ. Этотъ обзоръ не былъ бы полнымъ, если бы я не сообщилъ о важномъ опредѣленіи e, произведенномъ Планкомъ на основаніи теоретическихъ соображеній. Изъ теоріи распредѣленія энергіи въ спектрѣ нагрѣтаго тѣла, Планкъ нашелъ $e = 4{,}69 \times 10^{-10}$ и $N = 2{,}80 \times 10^{19}$. По причинамъ, въ разсмотрѣніе которыхъ мы здѣсь входить не можемъ, этотъ теоретическій выводъ является очень цѣннымъ.

Если принять во вниманіе большое разнообразіе теорій и методовъ, примѣненныхъ для опредѣленія атомическихъ постоянныхъ e и N и вѣроятныя ошибки наблюденія, то слѣдуетъ признать, что полученныя числа совпадаютъ другъ съ другомъ замѣчательно хорошо. Это въ особенности относится къ новымъ измѣреніямъ по различнымъ методамъ, которыя гораздо надежнѣе старыхъ опредѣленій. Очень трудно рѣшить, какое изъ этихъ новыхъ опредѣленій заслуживаетъ бо̀льшаго довѣрія. Но прошу извиненія, если я отнесусь съ нѣкоторымъ довѣріемъ къ разсмотрѣнному выше радіоактивному методу, основанному на опредѣленіи заряда α-частицы. Значеніе для e, полученное этимъ способомъ, не только очень близко совпадаетъ съ числомъ, выведеннымъ теоретически Планкомъ, но хорошо согласуется и съ многими другими изъ новыхъ результатовъ, полученныхъ другими методами. Итакъ, мы можемъ считать, что число молекулъ въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ любого газа при нормальномъ давленіи и температурѣ приблизительно равно $2{,}77 \times 10^{+19}$, и что величина элементарнаго количества электричества есть $4{,}65 \times 10^{-10}$ электростатическихъ единицъ. Имѣя эти данныя, можно очень просто вычислить массу каждаго атома, атомный вѣсъ котораго извѣстенъ, и опре-

дѣлить значенія цѣлаго ряда связанныхъ съ ними атомныхъ и молекулярныхъ величинъ.

Нѣтъ больше основанія относиться съ недовѣріемъ къ величинамъ, найденнымъ для этихъ основныхъ постоянныхъ; теперь ими можно спокойно пользоваться для вычисленій, имѣющихъ цѣлью дальнѣйшее развитіе нашихъ знаній о строеніи атомовъ и молекулъ. Нѣтъ сомнѣнія, что будетъ предпринято еще много работъ для опредѣленія этихъ важныхъ постоянныхъ съ наибольшею возможною точностью; но мы вправѣ полагать, что эти величины уже сейчасъ извѣстны намъ съ значительнымъ приближеніемъ, во всякомъ случаѣ съ гораздо большею точностью, чѣмъ этого можно было достигнуть еще нѣсколько лѣтъ тому назадъ. Замѣчательное совпаденіе значеній для e и N, выведенныхъ на основаніи столь разнообразныхъ теорій, представляетъ уже само по себѣ въ высшей степени сильное подтвержденіе правильности атомической теоріи матеріи и электричества; ибо трудно допустить, чтобы такое согласіе получилось только случайно, а не вслѣдствіе реальности атомовъ и ихъ зарядовъ.

Нѣкоторые склонны полагать, что развитіе физики за послѣдніе годы заставляетъ усумниться въ правильности атомическаго ученія. Этотъ взглядъ является совершенно ошибочнымъ: изъ разсмотрѣнныхъ фактовъ ясно, что новыя открытія не только значительно подкрѣпили старыя доказательства въ пользу этой теоріи, но даже дали почти прямое и вполнѣ убѣдительное новое подтвержденіе ея правильности. Химическій атомъ, какъ вполнѣ опредѣленная единица въ подраздѣленіи матеріи, теперь занялъ непоколебимое положеніе въ наукѣ. Если оставить въ сторонѣ этимологическія соображенія, атомъ въ химіи все время разсматривался только какъ наименьшее количество матеріи, способное вступать въ *химическія* соединенія (въ обычномъ значе-

ніи слова). Но при этомъ не предполагалось, что атомы не разрушимы и вѣчны, или что нельзя найти способа подраздѣлить ихъ на болѣе мелкія единицы. Открытіе электроновъ показало, что атомъ не представляетъ наименьшую массу, а изученіе радіоактивныхъ веществъ обнаружило, что атомы нѣкоторыхъ элементовъ съ высокимъ атомнымъ вѣсомъ не остаются постоянно устойчивыми, а самопроизвольно расщепляются и образуютъ вещество новаго типа. Но этотъ прогрессъ нашего знанія отнюдь не колеблетъ положенія химическаго атома, а скорѣе даже подтверждаетъ его важность, какъ одно изъ подраздѣленій матеріи, свойства котораго еще нуждаются въ дальнѣйшемъ детальномъ изученіи.

Доказательство существованія корпёслей, или электроновъ съ кажущейся массой, очень малой по сравненію съ массой водороднаго атома, знаменуетъ собою вступленіе нашихъ понятій о строеніи атомовъ въ новую очень важную фазу развитія. Этимъ открытіемъ, которое произвело громадное вліяніе на развитіе современной физики, мы обязаны, главнымъ образомъ, геніальному предсѣдателю нашей ассоціаціи—сэру Джозефу Томсону. Существованіе электрона, какъ опредѣленнаго индивида, установлено такими же методами и почти съ тою же достовѣрностью, какъ существованіе α-частицъ. До сихъ поръ не удалось открыть непосредственно отдѣльные электроны по ихъ электрическимъ или оптическимъ дѣйствіямъ и сосчитать ихъ, какъ это было сдѣлано съ α частицами; но нѣтъ, повидимому, основанія предполагать, что этого не удастся въ будущемъ сдѣлать электрическимъ методомъ: эффектъ, который можно ожидать отъ одной β-частицы, гораздо меньше эффекта отъ одной α-частицы, но все же не настолько малъ, чтобы его нельзя было измѣрить. Въ связи съ этимъ интересно отмѣтить, что Регенеръ наблюдалъ появленіе мельканія (сцинтилляцій) на экранѣ

покрытомъ платино-синеродистой солью барія, когда на этотъ экранъ падали β-лучи радія, но эти сцинтилляціи были слишкомъ слабы, чтобы ихъ можно было съ увѣренностью считать.

Опыты показали, что кажущаяся масса электроновъ мѣняется съ ихъ скоростью; а изъ сопоставленія опытовъ съ теоріей выведено заключеніе, что масса электроновъ—исключительно электрическаго происхожденія, и что нѣтъ надобности принимать существованіе матеріальнаго ядра, на которомъ распредѣленъ зарядъ электрона. Установлено съ несомнѣнностью, что электроны могутъ быть отдѣлены отъ атомовъ или молекулъ различными агентами и, если они обладаютъ достаточной скоростью, могутъ существовать самостоятельно. Но еще далеко нерѣшеннымъ является вопросъ о строеніи электроновъ, если только можно пользоваться такимъ терминомъ, а также вопросъ о роли электрона въ строеніи атома. Врядъ ли можно сомнѣваться въ томъ, что атомъ является сложной системой, состоящей изъ цѣлаго ряда положительно и отрицательно наэлектризованныхъ массъ, удерживаемыхъ въ равновѣсіи главнымъ образомъ электрическими силами; трудно рѣшить, носители какого электричества—положительнаго или отрицательнаго—играютъ здѣсь болѣе важную роль. Въ то время, какъ отрицательное электричество можетъ существовать какъ самостоятельное цѣлое въ видѣ электроновъ, нѣтъ рѣшающихъ доказательствъ существованія соотвѣтствующихъ положительныхъ электроновъ. Неизвѣстно, въ какой мѣрѣ масса атома обязана своимъ происхожденіемъ электронамъ или другимъ движущимся зарядамъ, и существуетъ ли вообще масса, отличающаяся отъ электрической. Дальнѣйшіе шаги для рѣшенія этихъ вопросовъ приходится отложить до тѣхъ поръ, когда мы будемъ располагать болѣе яснымъ представленіемъ о характерѣ и строеніи положитель-

наго электричества и объ его отношеніи къ отрицательному электрону.

Всѣ опытныя данныя указываютъ на то, что электроны играютъ двѣ различныя роли въ строеніи атома: въ однихъ случаяхъ они являются непрочно связанными спутниками, легко отдѣлимыми частями атомной системы, въ другихъ случаяхъ—составными частями внутренняго строенія атомовъ. Первая категорія электроновъ, которая можетъ быть легко отдѣлена или приведена въ колебаніе, играетъ, по всей вѣроятности, важную роль при соединеніи атомовъ другъ съ другомъ, т. е. при образованіи молекулъ, и въ спектрахъ элементовъ; электроны второй категоріи, удерживаемые болѣе значительными силами, могутъ быть освобождены только послѣ взрыва атома, вызывающаго полное его распаденіе. Такъ, отдѣленіе электрона малой скорости, вызванное обыкновенными лабораторными средствами, ничѣмъ, повидимому, не угрожаетъ цѣлости атома; выбрасываніе же электрона большой скорости радіоактивнымъ веществомъ сопровождается превращеніемъ атома.

Наука уже давно свыклась съ мыслью, что атомы представляютъ сложныя строенія, составленныя или изъ болѣе легкихъ атомовъ, или изъ нѣкотораго основного вещества. До сихъ поръ у насъ нѣтъ прямыхъ доказательствъ возможности образованія атома высокаго атомнаго вѣса изъ атомовъ съ малымъ вѣсомъ, но въ случаѣ радіоактивныхъ веществъ мы имѣемъ неопровержимое доказательство, что нѣкоторые элементы подвергаются обратному процессу—распаду. Заслуживаетъ вниманія то обстоятельство, что этотъ процессъ наблюдается только на атомахъ самаго высокаго атомнаго вѣса, какъ уранъ, торій и радій: за исключеніемъ развѣ только натрія, нѣтъ надежныхъ свѣдѣній, чтобы такой процессъ происходилъ еще съ какими-либо другими элементами. Превращеніе атома радіоактивнаго

вещества, является, повидимому, слѣдствіемъ очень сильнаго взрыва атома, при которомъ часть его выбрасывается съ большою скоростью. Въ большинствѣ случаевъ вылетаетъ α-частица, или атомъ гелія, въ нѣкоторыхъ случаяхъ—электронъ большой скорости; нѣкоторыя же вещества превращаются безъ появленія замѣтнаго излученія. Тотъ фактъ, что α-частицы изъ простого вещества выбрасываются всѣ съ одинаковыми очень большими скоростями, наводитъ на мысль, что эти заряженные атомы гелія до своего выхода изъ атома находятся въ немъ въ быстромъ вращеніи (движеніе по какой-либо орбитѣ). Въ настоящее время нѣтъ еще никакихъ опредѣленныхъ данныхъ относительно силъ, дѣйствующихъ при этихъ атомныхъ превращеніяхъ.

Такъ какъ во многихъ случаяхъ превращеніе атома сопровождается изгнаніемъ одного или нѣсколькихъ заряженныхъ атомовъ гелія, то трудно уклониться отъ заключенія, что атомы радіоактивныхъ элементовъ построены, по крайней мѣрѣ отчасти, изъ атомовъ гелія. Замѣчательно, конечно, а можетъ быть окажется и очень важнымъ, что гелій, представляющій съ обычной, химической точки зрѣнія неактивный элементъ, играетъ такую важную роль въ строеніи атомовъ урана, торія и радія.

Изученіе радіоактивности не только бросило яркій свѣтъ на характеръ атомнаго превращенія, но привело также къ изобрѣтенію методовъ, дающихъ возможность открывать присутствіе почти безконечно малыхъ количествъ радіоактивнаго вещества. Какъ мы указали уже выше, были придуманы два метода для обнаруженія отдѣльной α-частицы — одинъ электрическій, другой оптическій. Пользуясь оптическимъ методомъ, можно произвести точный подсчетъ числу α-частицъ, если даже выбрасывается только одна частица въ минуту. Нетрудно, слѣдовательно, прослѣдить за превращеніемъ радіоактивнаго вещества, если распадается всего одинъ

атомъ въ мунуту,—конечно, при условіи, что этотъ распадъ сопровождается выдѣленіемъ α-частицы. Въ случаѣ быстро преобразующагося вещества, какъ, напримѣръ, эманаціи актинія, которая распадается наполовину въ 3,7 секунды, можно обнаружить присутствіе, если не отдѣльнаго атома, то опредѣленнаго, небольшого числа атомовъ, такъ какъ сотня атомовъ произвела бы слишкомъ большой неудобоизмѣримый эффектъ. Счетъ сцинтилляцій представляетъ въ высшей степени могущественный и прямой количественный методъ для изученія свойствъ тѣхъ радіоактивныхъ веществъ, которыя испускаютъ α-лучи. Не только просто опредѣлить число α-частицъ, выбрасываемыхъ за извѣстный промежутокъ времени, но можно также, напримѣръ, соотвѣтствующими опытами рѣшить, вылетаютъ ли одна, двѣ или больше α-частицъ при разложеніи одного атома.

Возможность обнаружить отдѣльные атомы матеріи открыла новое поле для изслѣдованія прерывныхъ явленій. Такъ, напримѣръ, законъ превращенія радіоактивныхъ веществъ даетъ только среднюю скорость распада, а при помощи метода мельканій (сцинтилляцій) или электрическимъ методомъ можно непосредственнымъ опытомъ опредѣлить дѣйствительный промежутокъ времени между двумя послѣдовательными распаденіями атомовъ и законъ вѣроятнаго распредѣленія образующихся α-частицъ около средняго числа ихъ.

Помимо важныхъ слѣдствій изъ радіоактивныхъ превращеній, активныя тѣла доставляютъ въ высшей степени цѣнныя свѣдѣнія о дѣйствіяхъ, производимыхъ частицами, движущимися съ большими скоростями при прохожденіи черезъ матерію. Три вида излученій: α-, β- и γ-лучи, испускаемые радіоактивными тѣлами, значительно отличаются другъ отъ друга по своему характеру и способности проникновенія черезъ матерію. Такъ, напримѣръ, α-частицы вполнѣ задерживаются ли-

стомъ писчей бумаги, въ то время какъ γ-лучи радія могутъ быть еще легко обнаружены послѣ того, какъ они прошли черезъ слой свинца въ 20 сантиметровъ толщиною. Различіе въ характерѣ поглощенія излученій, несомнѣнно, слѣдуетъ приписать отчасти ихъ различному строенію, отчасти же и ихъ различнымъ скоростямъ.

Характеръ эффектовъ, производимыхъ α- и β-частицами, проще всего изучать на газахъ; α-частицы обладаютъ столь большой энергіей движенія, что онѣ прорываются сквозь попадающіяся имъ на пути молекулы газа и оставляютъ за собою болѣе 100.000 іонизированныхъ или диссоціированныхъ молекулъ. Пройдя извѣстное разстояніе, α-частица вдругъ теряетъ свои характерныя особенности и исчезаетъ изъ сферы нашихъ методовъ наблюденій. Она, безъ сомнѣнія, быстро теряетъ свою большую скорость, и, послѣ того какъ зарядъ ея нейтрализовался, дѣлается атомомъ гелія участвующимъ въ атомномъ движеніи частицъ газа. Іонизація, производимая α-частицами, состоитъ, повидимому, въ освобожденіи отъ молекулы одного или нѣсколькихъ электроновъ съ большой скоростью; но въ случаѣ сложныхъ (химически) газовъ актъ іонизаціи несомнѣнно сопровождается химическимъ разложеніемъ самой молекулы; однако, трудно разрѣшить, является ли эта химическая диссоціація первичнымъ эффектомъ или только вторичнымъ. Химическое разложеніе, производимое α-частицами, открываетъ широкое поле для изслѣдованій, къ которымъ теперь только приступили.

Отъ α-частицъ β-частицы отличаются своею способностью лучше проникать черезъ матерію и очень малымъ числомъ іонизированныхъ молекулъ, оставляемыхъ ими за собою въ газѣ, по сравненію съ α-частицами, прошедшими такое же разстояніе. Эти частицы очень легко отклоняются отъ своего пути при столкновеніи съ молекулами газа, и многое говоритъ за то,

что β-частицы, въ противоположность α-частицамъ, двигаясь съ очень большою скоростью, могутъ быть остановлены и захвачены молекулой.

Если принять во вниманіе большую энергію движенія α-частицъ и малое количество энергіи, поглощаемое при іонизаціи одной молекулы, то, повидимому, нельзя сомнѣваться въ томъ, что α—частицы, какъ подчеркиваетъ Бреггъ (Bragg), дѣйствительно проходятъ сквозь атомы, или вѣрнѣе сквозь сферу дѣйствія атомовъ, которые лежатъ на ихъ пути. Атомамъ, такъ сказать, некогда свернуть въ сторону и дать дорогу быстро движущимся α—частицамъ, а потому послѣднія должны пройти черезъ атомную систему. Съ этой точки зрѣнія старая аксіома,—несомнѣнно вѣрная въ большинствѣ случаевъ,—что два тѣла въ одно и то же время не могутъ занимать ту же самую часть пространства, не примѣнима больше къ атомамъ матеріи, движущимся съ достаточно большою скоростью.

Нѣтъ сомнѣнія, что тщательное изученіе дѣйствій, производимыхъ α-и β-частицами при прохожденіи черезъ матерію, въ концѣ концовъ броситъ еще гораздо больше свѣта на строеніе атомовъ. Одна изъ произведенныхъ уже въ этомъ направленіи работъ показываетъ, что характеръ поглощенія какимъ-либо веществомъ разныхъ излученій тѣсно связанъ съ его атомнымъ вѣсомъ и съ его положеніемъ въ періодической системѣ элементовъ. Одно изъ самыхъ поразительныхъ явленій при прохожденіи β-лучей черезъ матерію это — разсѣяніе β-частицъ, т. е. отклоненіе ихъ отъ прямолинейнаго пути при столкновеніи съ молекулами. Нѣкоторое время полагали, что такого разсѣянія нельзя ожидать для α-лучей, вслѣдствіе ихъ гораздо большей массы и энергіи движенія. Но новѣйшіе опыты Гейгера показали, что разсѣяніе α-частицъ выражено вполнѣ ясно; оно даже настолько значительно, что небольшая часть

α-частицъ, ударяющихся о металлическій экранъ, мѣняетъ направленіе своей скорости и выходитъ обратно по ту же сторону экрана. Это разсѣяніе удобнѣе всего изучать при помощи метода сцинтилляцій. Можно показать, что отклоненіе α-частицы отъ ея пути дѣлается замѣтнымъ уже послѣ прохожденія ея черезъ очень немногіе атомы матеріи. Такимъ образомъ, неизбѣжно заключеніе, что въ атомѣ имѣется сильное электрическое поле, иначе было бы невозможнымъ, чтобы при прохожденіи частицей такого малаго разстоянія, какъ діаметръ молекулы, мѣнялось ея направленіе.

Въ заключеніе я хотѣлъ бы подчеркнуть простоту и непосредственность методовъ для рѣшенія атомическихъ проблемъ, открытыхъ новыми изслѣдованіями. Напримѣръ, какъ мы видѣли, не только очень простое дѣло сосчитать α-частицы по производимымъ ими мельканіямъ на экранѣ изъ сѣрнистаго цинка, но можно также непосредственно изслѣдовать отклоненіе каждой частицы при прохожденіи ея черезъ магнитное или электрическое поле и опредѣлить уклоненіе ея отъ прямолинейнаго пути, вслѣдствіе столкновенія съ молекулами матеріи. Мы можемъ непосредственно измѣрить массу каждой α-частицы, ея зарядъ, ея скорость и можемъ вмѣстѣ съ тѣмъ опредѣлить число атомовъ въ данномъ вѣсовомъ количествѣ какого-либо изъ извѣстныхъ видовъ матеріи. Такіе и подобные непосредственные выводы, основанные лишь на минимальномъ количествѣ предположеній, своею яркостью и красотою достаточно оправдываютъ, полагаю я, вѣру физиковъ въ то, что они строятъ на прочномъ каменномъ фундаментѣ фактовъ, а не на сыпучемъ пескѣ воображенія и гипотезъ, какъ часто торжественно предостерегаютъ насъ нѣкоторые изъ нашихъ собратьевъ по наукѣ.

Перевелъ М. Я. Якобсонъ.

И. Боргманъ.

Возникновеніе электронной теоріи вещества.

Въ 1904 г. 20-го мая (н. с.) въ Манчестерѣ, гдѣ провелъ лучшіе годы своей ученой дѣятельности знаменитый Джонъ Дальтонъ, былъ отпразднованъ съ большою торжественностью, съ какою только англичане умѣютъ устраивать научныя собранія, столѣтній юбилей атомической теоріи строенія матеріи,—теоріи, которая съ полнымъ правомъ можетъ быть названа фундаментомъ всѣхъ нашихъ знаній о физическихъ тѣлахъ. Впрочемъ, не сто лѣтъ прошло съ тѣхъ поръ, какъ возникло основное представленіе этой теоріи, идея объ атомахъ. Эта идея впервые явилась, какъ всѣмъ извѣстно, еще у древнихъ греческихъ философовъ. Объ атомахъ, т. е. недѣлимыхъ болѣе частяхъ вещества, училъ Лейкиппъ (480 г. до Р. Х.), Демокритъ (420 г. до Р. Х.) и Лукрецій (55 г. до Р. Х.).

„Кромѣ атомовъ и пустоты, все остальное есть только сужденіе, а не существованіе. Атомы, безконечные по числу и по формѣ, своимъ движеніемъ, столкновеніемъ и возникающимъ отъ того круговращеніемъ образуютъ видимый міръ. Различіе предметовъ зависитъ только отъ различія числа, формы и порядка атомовъ, изъ которыхъ они образованы, но не отъ качественнаго различія атомовъ, дѣйствующихъ другъ на друга только давленіемъ и ударами“.

Таковы метафизическія положенія Демокрита. Эти положенія Демокрита слишкомъ далеки отъ того, что впервые установилъ Дальтонъ. Дальтону удалось воплотить идею объ атомахъ въ отчетливую, вполнѣ конкретную форму и при помощи ея создать теорію строенія тѣлъ, которая представила собою не только руководящую нить въ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ химіи и физики, но самымъ существеннымъ образомъ измѣнила характеръ этихъ изслѣдованій, превратила ихъ изъ качественныхъ въ количественныя. Лишь съ момента появленія атомическаго ученія Дальтона могло начаться правильное, непрерывное развитіе химіи. И вся современная химія, всѣ законы ея построены, какъ на базисѣ, на Дальтоновой теоріи. Благодаря этой же теоріи, могли въ физикѣ возникнуть: кинетическая теорія трехъ состояній тѣлъ, термодинамика, теорія электролиза, теорія дисперсіи свѣта и многое другое. Ученіе Дальтона неразрывными нитями связало химію съ физикой и, наконецъ, создало даже совсѣмъ новую науку, уже успѣвшую дать очень много и, конечно, еще болѣе обѣщающую въ будущемъ,—физическую химію.

Согласно ученію Дальтона, любое физическое тѣло, будетъ ли оно твердымъ, жидкимъ или газообразнымъ, имѣетъ зернистое строеніе. Оно состоитъ изъ *физическихъ частицъ* или *молекулъ*, отдѣленныхъ другъ отъ друга промежутками. Каждая молекула представляетъ собою наименьшее количество даннаго вещества, обладающее всѣми, принадлежащими этому веществу, *химическими* свойствами, но сама эта молекула является, въ свою очередь, собраніемъ еще болѣе мелкихъ подраздѣленій вещества—*атомовъ*. Атомъ—вотъ тотъ наименьшій предѣлъ, до котораго можетъ быть доведено раздѣленіе какой-либо матеріи,—предѣлъ, который при всевозможныхъ измѣненіяхъ, претерпѣваемыхъ этою матеріею, остается всегда однимъ и тѣмъ же. Такимъ образомъ,

атомъ является какъ бы недѣлимымъ. Но эта недѣлимость атома должна быть понимаема не какъ недѣлимость геометрическая,—атомъ занимаетъ въ пространствѣ нѣкоторый объемъ, а слѣдовательно, мыслимо дѣленіе его на части,—но какъ недѣлимость индивидуума. Любой индивидуумъ: человѣкъ, животное, растеніе, сохраняетъ присущія ему характерныя свойства, пока онъ живъ. Раздѣленіе индивидуума на части умерщвляетъ его и вмѣстѣ съ тѣмъ уничтожаетъ всѣ отличительныя особенности этого организма. Подобное же мы представляемъ себѣ и по отношенію къ атому какого угодно вещества.

Какимъ бы химическимъ дѣйствіямъ ни подвергалось данное вещество, въ какія бы соединенія съ другими веществами оно ни вступало, всѣ атомы этого вещества, какъ показываютъ это непосредственныя опытныя изслѣдованія, *производящіяся по употребляющимся до настоящаго времени въ химіи методамъ,* остаются безъ всякаго измѣненія. Въ химіи принимается, кромѣ того, почти аксіома, положеніе, что всѣ атомы одного какого угодно химически простого тѣла вполнѣ тождественны, эти атомы не обнаруживаютъ ни малѣйшей разницы. Но за то атомы двухъ какихъ-либо различныхъ химическихъ элементовъ рѣзко отличаются другъ отъ друга. И это отличіе выражается прежде всего въ неодинаковости массъ, присущихъ атомамъ.

По существующимъ воззрѣніямъ въ химіи, масса атома является главнымъ опредѣлителемъ всѣхъ химическихъ свойствъ даннаго вещества. По величинамъ массы атомовъ, или, иначе, по атомнымъ вѣсамъ, и распредѣлены химическіе элементы въ знаменитой періодической системѣ нашего славнаго ученаго Д. И. Менделѣева.

Вполнѣ естественно искать зависимость между химическими свойствами различныхъ веществъ и вели-

чинами массъ атомовъ этихъ веществъ. Вѣдь, всѣ химическія дѣйствія, выражающіяся въ распаденіи молекулъ на атомы и въ новой группировкѣ послѣднихъ въ иныя молекулы, сводятся къ одной основной причинѣ, къ силѣ взаимодѣйствія атомовъ. Атомамъ приписывается свойство притягивать другъ друга. Это притяженіе между атомами матеріи, какъ отличительное свойство послѣдней, и представляетъ собою тотъ цементъ, который закрѣпляетъ атомы въ молекулахъ, а молекулы въ тѣлахъ. Очевидно, что отъ количества веществъ въ атомѣ, опредѣляющагося отношеніемъ его къ дѣйствію на него постоянной массы земного шара, т. е. отъ массы этого атома, должны зависѣть, между прочимъ, и тѣ силы, какія при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ будутъ проявлять этотъ атомъ на атомы другихъ веществъ.

Но представляетъ ли безусловную истину только что приведенная, господствовавшая до послѣдняго времени идея объ абсолютной неизмѣнности атомовъ вещества, какимъ бы дѣйствіямъ ни было подвергнуто это вещество, при какихъ бы условіяхъ оно ни изслѣдовалось? Уже много лѣтъ, какъ время отъ времени появлялись въ научной литературѣ одинокія возраженія противъ этого положенія. Эти возраженія принадлежали ученымъ, которые проводили совершенно особый взглядъ на строеніе матеріи, которые разсматривали различные химическіе элементы, образованными изъ одной и той же субстанціи, изъ, такъ называемой, первичной матеріи. Особенно въ Англіи чаще, чѣмъ гдѣ либо, высказывались подобныя, несогласныя съ общепринятыми мнѣнія. И такія идеи принадлежали главнымъ образомъ физикамъ. Еще геніальный Фарадей писалъ: „открыть новый элементъ—прекрасное дѣло, но сумѣть разложить элементъ и сказать намъ, изъ чего онъ сдѣланъ,—вотъ это было бы, дѣйствительно, открытіе надъ которымъ

стоило бы потрудиться. Было время, когда желали прибавить къ списку металловъ, теперь мы хотѣли бы уменьшить число ихъ. Разлагать металлы, передѣлывать ихъ, измѣнять одинъ въ другой и осуществить нѣкогда считавшуюся абсурдомъ мысль о превращеніи,— вотъ задачи, представляющіяся нынѣ химику“.

На основаніи физическихъ изслѣдованій Локіеръ, Круксъ, Стокесъ и нѣкоторые другіе явились сторонниками новой доктрины, допускавшей сложность строенія атомовъ, раздѣленіе ихъ на части, когда данное вещество попадаетъ въ особыя условія, и даже принимавшей возможность существованія нѣкотораго различія между отдѣльными атомами одного и того же вещества, подобно тому, какъ наблюдается въ природѣ нѣкоторая, хотя и очень незначительная, разница между отдѣльными особями однихъ и тѣхъ же животныхъ, одного и того же пола, одного и того же возраста. И на континентѣ изрѣдка высказывалось то же, высказывалось, между прочимъ, даже и химиками.

Главнѣйшій доводъ въ пользу возможности фактической дѣлимости атомовъ представляли въ то время спектрометрическія изслѣдованія. Сложность спектровъ накаленныхъ паровъ металловъ и газовъ и измѣненія, наблюдавшіяся въ этихъ спектрахъ при измѣненіи температуры паровъ и газовъ или вообще при измѣненіи условій полученія самого свѣченія послѣднихъ, являлись трудно объяснимыми при допущеніи простоты строенія атомовъ и абсолютной прочности, неизмѣнности ихъ. Напротивъ, все это становилось понятнымъ при иномъ, прямо противоположномъ воззрѣніи на конструкцію атомовъ.

Изслѣдованія послѣдняго времени дали еще болѣе вѣскія доказательства правильности такого воззрѣнія. Начало этимъ изслѣдованіямъ положило замѣчательное открытіе Рентгена X-лучей, называемыхъ теперь въ честь

этого ученаго Рëнтгеновыми лучами. И 1895-ый годъ, когда было сдѣлано это открытіе, долженъ быть особенно отмѣченъ въ исторіи физики.

Удивительныя свойства Рëнтгеновыхъ лучей, испускаемыхъ Круксовою трубкою, вызвали весьма большой интересъ какъ къ розысканію другихъ способовъ возбужденія этихъ лучей, такъ и къ болѣе обстоятельному изученію того, что происходитъ внутри Круксовой трубки, и, главнымъ образомъ, того, что является непосредственною причиною этихъ лучей, т. е. къ детальному ознакомленію съ природою катоднаго потока.

Въ началѣ слѣдующаго же послѣ открытія Рëнтгена года, а именно въ февралѣ 1896 года, казалось, былъ найденъ новый, самостоятельно и непрерывно дѣйствующій, источникъ лучей Рëнтгена. А. Беккерель замѣтилъ, что соли урана (первыя наблюденія Беккереля производились съ двойною сѣрнокислою солью закиси урана и калія, $SO_4[UO]\,K \times H_2O$) безъ какого бы то ни было внѣшняго дѣйствія непрерывно испускаютъ лучи, которые обладаютъ особенностями лучей Рëнтгена. Какъ лучи Рëнтгена, такъ и лучи, исходящіе изъ урановыхъ солей, дѣйствуютъ на фотографическую пластинку, помѣщенную въ свѣтонепроницаемый конвертъ, возбуждаютъ въ нѣкоторыхъ тѣлахъ, напр., въ платиносинеродистомъ баріѣ, флюоресценцію, и, наконецъ, при своемъ прохожденіи сквозь воздухъ или другой газъ сообщаютъ этимъ наиболѣе совершеннымъ изоляторамъ способность проводить электричество. Но очень скоро Беккерель убѣдился, что открытые имъ лучи не могутъ быть отождествлены съ Рëнтгеновыми. Лучи Рëнтгена не испытываютъ на себѣ никакого дѣйствія магнита, даже самый сильный электромагнитъ нисколько не измѣняетъ направленія пучка этихъ лучей; Беккерель же замѣтилъ, что лучи, которые онъ получалъ отъ урановыхъ соединеній или самого металла урана, чувствовали вліяніе

магнита, направленіе этихъ лучей измѣнялось при возбужденіи магнитнаго поля, когда направленіе силовыхъ линій въ этомъ полѣ было перпендикулярно лучамъ. Беккерель судилъ о направленіи лучей по положенію пятна, которое производилось ими на фотографической пластинкѣ. Черезъ два года послѣ открытія Беккереля Шмидтъ въ Германіи, г-жа Кюри въ Парижѣ, независимо другъ отъ друга, нашли, что и соли торія обладаютъ свойствомъ, подобнымъ свойству солей урана. Соли торія также испускаютъ лучи со всѣми особенностями лучей солей урана. Вскорѣ обнаружилось, что и всѣ минералы, въ составъ которыхъ входятъ соединенія урана или торія, являются источниками такихъ же Беккерелевыхъ лучей. Но изъ всѣхъ изслѣдованныхъ минераловъ наиболѣе сильнымъ источникомъ оказалась смоляная урановая руда Іогангеоргенштадта, а также добываемая въ Богеміи въ долинѣ Св. Іоахима. Г-жа Кюри, вмѣстѣ со своимъ мужемъ П. Кюри, особенно занялась изученіемъ этой руды, поставивъ себѣ задачею выдѣленіе изъ нея наиболѣе активнаго вещества.

Работа Кюри увѣнчалась блестящемъ успѣхомъ. Кюри [1]) удалось получить изъ смоляной урановой руды вещество, способность котораго испускать Беккерелевы лучи превышала болѣе чѣмъ въ 400 разъ такую же способность металла урана. На основаніи этого супруги Кюри заключили, что въ этомъ веществѣ долженъ находиться особый элементъ, особый металлъ, близкій по своимъ химическимъ свойствамъ къ висмуту, названный ими *полоніемъ*. Очень скоро послѣ этого Кюри [2]) выдѣлили изъ той же руды еще болѣе активное хлористое соединеніе, въ 900 разъ превышающее по активности уранъ, и въ этомъ веществѣ кромѣ хлорюра барія, по ихъ мнѣнію, должно было заключаться хлористое соеди-

---

[1]) P. Curie et M-me S. Curie. C. R. *127* p. 175 (1898).

[2]) P. Curie, M-me S. Curie et G. Bémont. C. R. *127* p. 1215 (1898).

неніе другого новаго металла, которому они дали названіе *радій*. Дальнѣйшія изслѣдованія г-жи Кюри вполнѣ подтвердили правильность такого мнѣнія. Сама Кюри, а затѣмъ и другіе ученые получили чистыя химическія соединенія радія, активность которыхъ въ милліонъ и болѣе разъ превышаетъ активность урана. Былъ опредѣленъ и атомный вѣсъ этого новаго элемента. Атомный вѣсъ радія равняется 226,5. Въ самое недавнее время г-жа Кюри въ сотрудничествѣ съ Дебіерномъ [1]) при помощи электролиза раствора хлористаго радія получила и металлическій радій.

Въ 1889 г. въ остаткахъ смоляной урановой руды, подвергавшейся изслѣдованію Кюри, Дебіернъ [2]) открылъ существованіе еще одного радіоактивнаго элемента, названнаго имъ *актиніемъ*.

Открытія полонія, актинія и въ особенности радія, активность соединеній котораго съ теченіемъ времени послѣ полученія ихъ изъ руды не только не уменьшалась, какъ это наблюдалось съ полоніемъ, но въ продолженіе мѣсяца непрерывно возрастала и наконецъ достигла величины въ 4 раза большей первоначальной, вызвали цѣлый рядъ изслѣдованій, приведшихъ къ поразительнымъ по неожиданности и важности результатамъ. Почти во всѣхъ изслѣдованіяхъ этого рода примѣняется электрическій методъ. Наблюдается или скорость, съ которою происходитъ уменьшеніе заряда наэлектризованнаго проводника, помѣщеннаго въ воздухѣ, подверженномъ излученію радіоактивнаго вещества, или сила тока въ цѣпи, заключающей въ себѣ двѣ параллельныя металлическія пластинки, когда слой воздуха или другого газа, находящагося между этими пластинками пронизывается лучами, испускаемыми такимъ веществомъ.

---

[1]) S. Curie et A. Debierne. C. R. *151* p. 523 (1910).

[2]) A. Debierne. C. R. *129* p. 593 (1899).

Опыты обнаружили, что соединенія торія, актинія и радія непрерывно выдѣляютъ изъ себя новыя вещества, новые газы, также въ высшей степени радіоактивные. Но оказалось, что газъ, выдѣляемый препаратами радія, всегда одинаковый, существенно отличается отъ газа, выдѣляемаго соединеніями торія, который, въ свою очередь, отличается отъ газа, получающагося изъ актинія. Эти газы получили общее названіе *эманація*. Всѣ они принадлежатъ къ группѣ химически инертныхъ газовъ. Спектръ эманаціи радія хорошо изученъ; онъ не похожъ на спектръ какого-либо другого химическаго элемента. Этотъ газъ подчиняется, какъ и обыкновенные газы, закону Бойля-Маріотта; онъ, при упругости въ одну атмосферу, обращается въ жидкость при температурѣ около—62° или—65° и образовавшаяся изъ него жидкость затвердѣваетъ при—71°. Эманаціи торія и актинія изучены пока меньше. Оба эти газа точно также могутъ ожижаться, причемъ эманація актинія, смѣшанная съ большимъ количествомъ воздуха, претерпѣваетъ конденсацію между—120° и—150°. Эманація торія, также смѣшанная съ большимъ количествомъ воздуха, конденсируетъ при нѣсколько болѣе высокой температурѣ.

Въ 1904 году Рамсей и Содди [1]) произвели замѣчательное открытіе. Они нашли, что эманація радія образуетъ изъ себя химически простое тѣло гелій. Въ опытахъ этихъ ученыхъ эманація радія была заключена въ небольшой спектральной трубкѣ. При разрядѣ Румкорфовой катушки чрезъ эту спектральную трубку наблюдался характерный спектръ эманаціи радія. Чрезъ трое сутокъ послѣ наполненія трубки эманаціей въ этомъ спектрѣ появилась новая желтая линія, соотвѣтствующая спектру гелія; по прошествіи пяти сутокъ сфор-

---

[1]) Ramsay and Soddy. Proc R. Soc. *73* p. 346 (1904).

мировался вполнѣ отличительный спектръ гелія. Это открытіе Рамсея и Содди было подтверждено нѣсколькими физиками. Итакъ, желаніе, высказанное Фарадеемъ, исполнилось! Непосредственно опытами прослѣжено превращеніе радія въ другой элементъ—эманацію радія и образованіе этимъ элементомъ опять таки элемента—гелія. Въ настоящее время намъ извѣстно даже, съ какою скоростью происходитъ возникновеніе гелія изъ радія. По измѣреніямъ Дьюара [1]) одинъ граммъ радія въ препаратѣ радія образуетъ въ теченіе года 135 куб. мм. гелія (при темп. 0° и упругости въ 760 м.м.), по послѣднимъ даннымъ Больтвуда и Рётсерфорда[2]) 1 грамъ радія въ состояніи равновѣсія съ первыми своими тремя производными выдѣляетъ въ годъ 156 куб. мм. гелія.

Тщательныя изслѣдованія показали, что и самъ радій является потомкомъ одного изъ простыхъ химическихъ тѣлъ. Праотецъ радія—уранъ. Изъ этого металла получается радій. Первый Содди [3]) замѣтилъ фактъ появленія радія въ растворѣ урановой соли, когда раньше въ этомъ растворѣ не наблюдалось ни малѣйшихъ слѣдовъ этого вещества. Образованіе радія идетъ, однако, очень медленно и только послѣ долгаго времени возможно было обнаружить нарожденіе этого металла. Содди и Мекензи [4]) опредѣлили 20-го іюня 1907 г. содержаніе радія въ растворѣ 1500 гр. нитрата урана въ 4×10^{-12} гр. Это содержаніе черезъ 11 мѣсяцевъ, а именно 22 мая 1908 г., возросло до 3×10^{-11} граммъ.

Рётсерфордъ и Болтвудъ [5]) пришли къ заключенію, что въ минералахъ, содержащихъ уранъ, имѣется всегда вполнѣ опредѣленное, соотвѣтственно количеству урана,

---

[1]) Dewar. Le Raidùm *5* p. 332 (1908).

[2]) Boltwood and Rutherford. Phil. Mag. *22* p. 586 (1911).

[3]) Soddy. Phil. Mag. (6) *9* p. 769 (1905).

[4]) Soddy. and Mackenzie. Phil. Mag. (6) *16* p. 632 (1908).

[5]) Rutherford and Boltwood. Sill. Journ. *22* p. 1 (1906).

количество радія. Одному грамму урана соотвѣтствуетъ $3{,}8 \times 10^{-7}$ гр. радія. Въ этихъ же минералахъ находится гелій. Это и должно быть такъ, ибо гелій, какъ было только что упомянуто, образуется изъ радія. По количеству гелія, содержащагося въ минералѣ, представляется даже возможность опредѣлить, по крайней мѣрѣ приблизительно, возрастъ этого минерала, т.-е. время, которое протекло отъ возникновенія его, или, вѣрнѣе, отъ того момента, когда температура минерала настолько понизилась, что прекратилось выдѣленіе изъ этого минерала газообразнаго гелія.

Итакъ, непосредственныя наблюденія показали существованіе непрерывной эволюціи нѣкоторыхъ химическихъ элементовъ. Элементъ уранъ создаетъ элементъ радій, радій образуетъ эманацію, эманація производитъ гелій. Мечта средневѣковыхъ алхимиковъ о превращеніи вещества одного въ другое оказывается не вполнѣ фантастическою! Безъ всякаго насилія, безъ какого бы то ни было внѣшняго вліянія происходитъ въ природѣ постепенное измѣненіе химически простого тѣла. Это простое тѣло выдѣляетъ изъ себя другое тѣло также простое, но совершенно отличное по свойствамъ отъ перваго. Второе тѣло порождаетъ третье, третье вызываетъ появленіе четвертаго. Мертвая матерія, какою мы представляемъ себѣ вообще металлъ, обнаруживаетъ свойства живого организма, даже больше, эта матерія даетъ поколѣніе за поколѣніемъ, не похожія другъ на друга, она эволюціонируетъ несравненно быстрѣе, чѣмъ это допускается въ мірѣ животныхъ и растеній, она эволюціонируетъ безъ всякаго естественнаго подбора, безъ необходимости бороться за существованіе.

Внимательныя изслѣдованія препаратовъ урана, радія, торія и актинія открыли значительно бо́льшее число послѣдовательныхъ превращеній, чѣмъ тѣ три, о которыхъ только что было сообщено. Эти изслѣдованія

обнаружили, кромѣ того, что препараты радіоактивныхъ элементовъ урана, торія, радія и актинія испускаютъ изъ себя не однородные лучи, а лучи трехъ различныхъ сортовъ, причемъ эти лучи, какой бы изъ трехъ категорій они ни были, вполнѣ отличны отъ лучей тепловыхъ, свѣтовыхъ или электрическихъ. Эти три сорта лучей, испускаемыхъ радіоактивными тѣлами, получили названіе: α-лучи, β-лучи, γ-лучи. Природа каждаго сорта этихъ лучей вполнѣ своеобразная.

Лучи—α—это потоки матеріальныхъ частичекъ, несущихъ вмѣстѣ съ собою положительное электричество. Рётсерфордъ непосредственно, опытомъ [1]) доказалъ, что матеріальныя частички, движеніе которыхъ образуетъ α-лучи, суть атомы гелія. Онъ же опредѣлилъ [2]) и величину заряда каждой такой частички, а также опредѣлилъ [3]) и число этихъ частичекъ, которое выбрасывалось бы въ теченіе одной секунды однимъ граммомъ металла радія. Зарядъ каждой α-частички равняется $9{,}3 \times 10^{-10}$ абсол. электрост. единицы количества электричества. Число α-частичекъ, которое въ теченіе одной секунды должно вылетать изъ одного грамма радія, равно $3{,}4 \times 10^{10}$. Скорость, съ которою α-частички выбрасываются радіоактивными веществами, различна для различныхъ веществъ, но эта скорость очень большая, она порядка 10^9 сантиметровъ въ секунду, т.-е. немного менѣе $^1/_{10}$ скорости свѣта.

Лучи—β—также потокъ частичекъ, но β-частички не матеріальны. β-частички суть атомы отрицательнаго электричества, такъ называемые, *электроны*, или, по номенклатурѣ сэра Дж. Томсона, корпёсли (corpuscle) [4]).

---

[1]) Rutherford. Phil. Mag. *17* p. 281 (1909).

[2]) Rutherford. Proc. R. Soc. *81* p. 162 (1908).

[3]) Rutherford. Proc. R. Soc. *81* p. 141 (1908).

[4]) Я удерживаю англійское названіе „*corpuscle*“ и не употребляю слово „*Корпускула*“, означающее „*частицу*“. Такое названіе придается обыкновенно частицамъ обыкновенной матеріи. *И. Б.*

Количество электричества, соотвѣтствующее такому атому (электрону или корпёслю), намъ также извѣстно теперь съ довольно большою точностью. Оно равняется $4{,}69 \times 10^{-10}$ абсол. электрост. ед. кол. электр., т.-е. по абсолютной величинѣ въ два раза меньше количества электричества, несомаго каждою α-частичкою. Скорость, съ которою несутся β-частички въ β-лучахъ, весьма близка къ скорости свѣта, она порядка 10^{10} сантиметровъ въ секунду.

Лучи третьей категоріи, т.-е. γ-лучи, по своей природѣ вполнѣ напоминаютъ лучи Рёнтгена. Какъ и лучи Рёнтгена, γ-лучи обладаютъ способностью проникать сквозь толстые слои твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, они не испытываютъ ни малѣйшаго дѣйствія даже отъ очень сильнаго магнитнаго поля, равнымъ образомъ на нихъ не оказываетъ вліяніе и поле электрическое.

Совершенно иначе относятся къ магнитнымъ и электрическимъ полямъ лучи первыхъ двухъ категорій, т.-е. α-лучи и β-лучи. Въ особенности чувствуютъ дѣйствіе магнитнаго и электрическаго полей β-лучи. Эти лучи измѣняютъ свое направленіе подъ вліяніемъ даже слабаго магнитнаго или электрическаго поля, если только направленіе силовыхъ линій поля перпендикулярно лучамъ. Лучи—α при такомъ же направленіи поля испытываютъ отъ него значительно меньшее дѣйствіе, причемъ отклоненіе этихъ лучей происходитъ въ сторону, прямо противоположную той, въ которую при томъ же полѣ отклоняются лучи—β. Изъ наблюденій отклоненій лучей при дѣйствіи магнитнаго и электрическаго поля, когда извѣстны напряженія этихъ полей, и представляется возможность вычислить двѣ величины, а именно скорость движенія образующихъ эти лучи частичекъ и отношеніе массы каждой такой частички къ величинѣ несомаго ею заряда $\left(v \text{ и } \frac{m}{e}\right)$. Какъ будетъ

сообщено дальше, опредѣленія величинъ v и $\frac{m}{e}$ или $\frac{e}{m}$ и привели къ тѣмъ представленіямъ о природѣ α-и β-лучей, какія приведены выше.

Что представляютъ собою лучи γ—пока съ точностью неизвѣстно. О нихъ существуютъ два мнѣнія. Большинство физиковъ разсматриваетъ эти лучи, какъ распространеніе въ пространствѣ электрическихъ импульсовъ, распространеніе своего рода взрывной волны; проф. Брегъ, напротивъ, пытается доказать, что γ-лучи образуются отъ потоковъ дублетовъ, состоящихъ изъ матеріальныхъ атомовъ, заряженныхъ положительнымъ электричествомъ, и электроновъ, т.-е. β-частичекъ, или атомовъ отрицательнаго электричества, причемъ положительный зарядъ матеріальнаго атома въ этомъ дублетѣ равенъ количеству электричества, соотвѣтствующему электрону. Какова скорость, съ которою распространяются въ пространствѣ γ-лучи, также пока неизвѣстно.

Какъ упомянуто выше, изслѣдованія радіоактивныхъ веществъ обнаружили цѣлый рядъ превращеній, которымъ подвергаются такія вещества. Эти изслѣдованія дали даже возможность опредѣлить жизнеспособность всѣхъ отдѣльныхъ стадій превращенія радіоактивнаго вещества, т. е. найти среднюю продолжительность существованія въ неизмѣнномъ видѣ атомовъ, соотвѣтствующихъ различнымъ ступенямъ при эволюціи этой радіоактивной матеріи. Всѣ такія изслѣдованія производились и производятся при посредствѣ электрическаго метода, т.-е. при помощи опредѣленія іонизаціи воздуха, иначе при помощи опредѣленія проводимости воздухомъ электричества, когда этотъ воздухъ подвергается дѣйствію испытуемаго вещества. Руководящею же идеею при этихъ изслѣдованіяхъ является идея Рӧтсерфорда, его теорія дезинтеграціи, распада атомовъ радіоактивнаго вещества.

По теоріи Рётсерфорда атомъ всякаго радіоактивнаго элемента представляетъ собою весьма сложную систему. Онъ состоитъ изъ весьма мелкихъ частичекъ и непремѣнно заключаетъ въ своемъ составѣ атомы гелія, т.-е. α-частички, и электроны, т.-е. β-частички. Весьма сложная система, образующая атомъ радіоактивнаго элемента, не обладаетъ абсолютною прочностью. Она способна измѣняться. Отъ этой системы можетъ отдѣляться или одна α-частичка, или одинъ электронъ, т.-е. β-частичка, или же могутъ отдѣлиться одновременно и α-частичка и электронъ. Можетъ, наконецъ, такая система подвергаться измѣненію въ группировкѣ составляющихъ ее частей. Во всѣхъ этихъ случаяхъ система преобразуется въ иную систему, т.-е. атомъ даннаго вещества превращается въ атомъ другого вещества. Теорія Рётсерфорда принимаетъ, что не всѣ атомы радіоактивнаго вещества одновременно подвергаются дезинтеграціи или измѣненію въ своей конструкціи. Напротивъ, по этой теоріи изъ всего числа атомовъ даннаго радіоактивнаго элемента, которое заключается въ единицѣ объема, подвергается измѣненію только опредѣленная доля этого числа. Чѣмъ прочнѣе строеніе системы, представляющей собою атомы, тѣмъ меньше эта доля. Эта дробь носитъ названіе *радіоактивной постоянной* и обозначается обыкновенно черезъ λ. Весьма нетрудно доказать, что обратная величина λ, т.-е. $\frac{1}{\lambda}$, равняется средней продолжительности существованія системы въ ея неизмѣнномъ состояніи, она выражаетъ, такимъ образомъ, среднюю жизнеспособность атомовъ этого вещества. Находится величина λ при посредствѣ наблюденія надъ измѣненіемъ съ теченіемъ времени іонизаціи воздуха, вызываемой изслѣдуемымъ радіоактивнымъ веществомъ.

Нижеслѣдующая таблица, составленная по новѣйшимъ даннымъ Л. Коловратъ-Червинскимъ [1]), указываетъ послѣдовательный рядъ превращеній, претерпѣваемыхъ

элементами уранъ, актиній, торій и ихъ производными, а также содержитъ въ себѣ величины λ, $V = \frac{1}{\lambda}$, соотвѣтствующія различнымъ элементамъ, возникающимъ при этихъ превращеніяхъ, и тѣ изученія, какія сопровождаютъ эти превращенія.

	ЭЛЕМЕНТЫ.	Радіоактивная постоянная λ въ сек.$^{-1}$	Средняя жизнеспособность $V = \frac{1}{\lambda}$	Составъ излученія.
Уранъ и его производные.	Уранъ (атом. вѣсъ 238,5)	4×10^{-18}	9×10^{9} лѣтъ	α
	Радіоуранъ	—	нѣсколько лѣтъ	—
	Уранъ X	$3{,}7 \times 10^{-7}$	31 день	β, γ
	Іоній	2×10^{-12}	10^{4} лѣтъ	α
	Радій (атом. вѣсъ 226,4)	$1{,}1 \times 10^{-11}$	2,900 лѣтъ	α, β
	Эманація	$2{,}08 \times 10^{-6}$	5,57 дня	α
	Радій A	$3{,}85 \times 10^{-3}$	4,3 минуты	α
	„ B	$4{,}33 \times 10^{-4}$	38,5 минуты	β
	„ C	$5{,}93 \times 10^{-4}$	28,1 минуты	α, β, γ
	„ D	$1{,}8 \times 10^{-9}$	17 лѣтъ	безъ лучей
	„ E1	$1{,}3 \times 10^{-6}$	8,9 дней	безъ улчей
	„ E2	$1{,}7 \times 10^{-6}$	6,9 дней	β
	Радій F или Полоній .	$5{,}73 \times 10^{-8}$	202 дня	α
Торій и его производные.	Актиній	—	—	безъ лучей
	Радіоактиній	$4{,}1 \times 10^{-7}$	28,1 дней	α, β
	Актиній X	$7{,}6 \times 10^{-7}$	15 дней	α
	Эманація	$1{,}8 \times 10^{-1}$	5,6 сек.	α
	Актиній A	$3{,}20 \times 10^{-4}$	52,1 минуты	β
	„ B	$5{,}37 \times 10^{-3}$	3,10 минуты	α
	„ C	$2{,}26 \times 10^{-3}$	7,4 минуты	β, γ
Актиній и его производные.	Торій (атом. вѣсъ 232,42)	7×10^{-19}	4×10^{10} лѣтъ	α
	Мезоторій 1	$4{,}0 \times 10^{-9}$	7,9 лѣтъ	безъ лучей
	Мезоторій 2	$3{,}1 \times 10^{-5}$	8,9 часовъ	β, γ
	Радіоторій	$1{,}09 \times 10^{-8}$	1063 дня	α
	Торій X	$2{,}17 \times 10^{-6}$	5,35 дня	α
	Эманація	$1{,}31 \times 10^{-2}$	76 сек.	α
	Торій A	$1{,}8 \times 10^{-5}$	15,3 часовъ	β
	„ B	$2{,}1 \times 10^{-4}$	79 мин.	α
	„ C	—	секунды	α
	Торій D	$3{,}7 \times 10^{-3}$	4,5 минуты	β, γ

[1]) L. Kolowrat. Le Radium. 7 p. 1. (1910).

Мы видимъ, такимъ образомъ, что генеалогія трехъ семействъ элементовъ, элементовъ сильно радіоактивныхъ, уже достаточно полно прослѣжена. Относительно другихъ химическихъ элементовъ мы пока не въ состояніи сказать ничего опредѣленнаго; относительно нѣкоторыхъ изъ нихъ возможны лишь только кое-какія гипотетическія сопоставленія. Врядъ-ли, однако, невѣрно положеніе, что и обыкновенные химическіе элементы, по крайней мѣрѣ металлы, обладаютъ также радіоактивными свойствами, т.-е. выбрасываютъ изъ себя α-частички. Опыты какъ будто даютъ указанія на это. Несомнѣнно, однако, то, что во всѣхъ тѣлахъ природы имѣется электричество. Наблюденія надъ электрическими явленіями заставили еще въ XVIII столѣтіи высказать предположеніе о нахожденіи во всякомъ тѣлѣ, когда оно и не обнаруживаетъ признаковъ электрическаго состоянія, двухъ электричествъ въ равныхъ количествахъ. Въ половинѣ XVIII столѣтія и создалась теорія электрическихъ явленій, принявшая въ своемъ основаніи существованіе двухъ особыхъ субстанцій, положительнаго и отрицательнаго электричества.

Въ своихъ теоретическихъ изслѣдованіяхъ въ области электрическихъ явленій Гельмгольцъ оставался всегда сторонникомъ такого воззрѣнія, а въ 1881 г. въ рѣчи, произнесенной въ собраніи Лондонскаго Химическаго Общества, посвященномъ чествованію памяти знаменитаго Михаила Фарадэя, онъ съ полною ясностью высказалъ идею объ атомѣ электричества и объ атомическомъ строеніи электрической субстанціи.

Въ этой рѣчи озаглавленной *„Современное развитіе взгляда Фарадэя на электричество“*, Гельмгольцъ далъ [1]) слѣдующую формулировку найденному Фарадэемъ закону электролиза: при прохожденіи электрическаго тока

[1]) Helmholtz. Vorträge und Reden. Vol. II s. 271 (1896).

чрезъ электролитическій проводникъ чрезъ всякое поперечное сѣченіе этого проводника передается электрическое и совмѣстно съ нимъ эквивалентное ему химическое движеніе. Точно также одно и тоже опредѣленное количество положительнаго или отрицательнаго электричества передвигается съ каждымъ одновалентнымъ іономъ или съ каждою частью, соотвѣтствующею единицѣ сродства, многовалентнаго іона, и неразлучно сопровождаетъ іонъ во всѣхъ передвиженіяхъ, совершаемыхъ имъ въ жидкости. Это количество можетъ быть названо *электрическимъ зарядомъ іона* (elektrische Ladung des Ion).

Гельмгольцъ сказалъ далѣе: „въ настоящее время мы не знаемъ другой достаточно ясной и разработанной теоріи, которая была бы въ состояніи объяснить всѣ наблюдаемые въ химіи факты такъ просто и послѣдовательно, какъ объясняетъ ихъ атомическая теорія. Если примѣнить эту гипотезу къ электрическимъ процессамъ, то она, въ соединеніи съ закономъ Фарадэя, приводитъ къ поразительнымъ слѣдствіямъ. Если мы допускаемъ существованіе химическихъ атомовъ, то мы принуждены заключить отсюда далѣе, что также электричество какъ положительное, такъ и отрицательное, раздѣляется на отдѣльныя элементарныя количества, которыя играютъ роль атомовъ электричества. Каждый іонъ, пока онъ передвигается въ жидкости, долженъ быть соединенъ съ однимъ эквивалентомъ (атомомъ) электричества въ каждой своей части, соотвѣтствующей единицѣ сродства. Только на поверхности электродовъ можетъ произойти раздѣленіе. Здѣсь іоны отдаютъ свое электричество и дѣлаются электрически нейтральными атомами“. Итакъ, зарядъ водороднаго іона одинаковъ съ зарядами іоновъ всѣхъ другихъ одновалентныхъ элементовъ, зарядъ какого-либо двувалентнаго іона — въ три раза больше, зарядъ трехвалентнаго іона — въ три

раза больше и т. д. Однимъ словомъ, изъ сочетанія зарядовъ, соотвѣтствующихъ водородному іону, изъ удвоенія, изъ утроенія и т. д. этихъ зарядовъ составляются заряды многовалентныхъ іоновъ. Зарядъ іона водорода представляется такимъ образомъ наименьшимъ подраздѣленіемъ электричества. Такой зарядъ есть *атомъ электричества*.

Изъ наблюденій надъ электролизомъ получается возможность найти величину отношенія заряда іона водорода (e) къ массѣ этого іона, т.-е. къ массѣ атома водорода (m).

Въ самомъ дѣлѣ, опыты показываютъ, что для выдѣленія при электролизѣ на электродѣ граммъ-эквивалента какого-либо вещества необходимо прохожденіе чрезъ электролитъ 96500 кулоновъ или 9650 абсолютныхъ электромагнитныхъ единицъ количества электричества. А поэтому, обозначая черезъ M массу водорода, выдѣлившагося на катодѣ при прохожденіи чрезъ электролитъ количества электричества E, имѣемъ, если E выражено въ электром. единицѣ,

$$\frac{E}{M} = 9650.$$

Если обозначимъ черезъ m массу атома водорода, черезъ e зарядъ іона водорода и чрезъ n—число атомовъ водорода въ томъ количествѣ этого газа, которое выдѣлилось на электродѣ, мы имѣемъ; $E=ne$, $M=nm$ и

$$\frac{E}{M} = \frac{ne}{nm} = 9650,$$

откуда получаемъ

$$\frac{e}{m} = 9650,$$

или въ круглыхъ числахъ

$$\frac{e}{m} = 10^4.$$

Какъ извѣстно, величина массы атома водорода — порядка 10^{-24} гр., а поэтому находимъ, что зарядъ

іона водорода или атомъ электричества долженъ быть порядка 10^{-20} абсол. электром. единицы.

Такого же порядка величины былъ опредѣленъ впервые въ 1898 г. Дж. Томсономъ [1]) и зарядъ каждаго газіона въ воздухѣ какъ положительнаго, такъ и отрицательнаго, когда этотъ воздухъ подвергается дѣйствію Рёнтгеновскихъ лучей. Въ слѣдующемъ году Дж. Дж. Томсонъ [2]) нашелъ, что тотъ же самый зарядъ наблюдается въ газіонахъ, когда газіоны образуются въ воздухѣ подъ вліяніемъ освѣщенія ультрафіолетовыми лучами отрицательно наэлектризованнаго проводника, находящагося въ этомъ воздухѣ. Изъ опытовъ Томсона величина такого заряда оказалась равною $3{,}4 \times 10^{-10}$ электрост. един. Произведенные Томсономъ опыты поразительны по тому въ высшей степени остроумному методу, который былъ примѣненъ въ нихъ, но тѣмъ не менѣе, они не могли дать вполнѣ надежный результатъ, такъ какъ при этихъ опытахъ было невозможно вполнѣ устранить различныя побочныя вліянія, весьма сильно дѣйствующія на окончательный выводъ.

Значительно болѣе простой и болѣе свободный отъ вредныхъ побочныхъ обстоятельствъ методъ для опредѣленія заряда газіона былъ употребленъ Уильсономъ [3]). Въ опытахъ Уильсона такъ же, какъ и въ опытахъ Томсона, іонизируемый Рёнтгеновскими лучами насыщенный водяными парами воздухъ подвергался быстрому расширенію. При такомъ адіабатическомъ расширеніи влажнаго воздуха происходитъ, вслѣдствіе охлажденія, конденсація паровъ воды, причемъ, какъ показалъ это С. Т. R. Wilson [4]), образованіе капелекъ, если только воздухъ вполнѣ освобожденъ отъ пыли,

[1]) J. J. Thomson. Phil. Mag. *46* p. 528 (1898).
[2]) J. J. Thomson. Phil. Mag. *48* p. 547 (1899).
[3]) H. A. Wilson. Phil. Mag. (6) *6* p. 429 (1903).
[4]) C. T. R. Wilson. Proc. Camb. Phil. Soc. *9* p. 333 (1897).

возникаетъ вокругъ газіоновъ. При небольшомъ расширеніи, а слѣдовательно, и небольшомъ охлажденіи воздуха капельки получаются только на отрицательныхъ газіонахъ. Въ способѣ Уильсона въ стеклянномъ сосудѣ, въ которомъ находится влажный воздухъ, подвергающіися іонизаціи и расширенію, помѣщается горизонтально расположенный плоскій конденсаторъ. Производятъ два послѣдовательныхъ наблюденія, каждый разъ подвергая воздухъ расширенію и получая вслѣдствіе этого между пластинами конденсатора облачко, а именно: 1) опредѣляютъ скорость V_1, съ которою опускается облачко при незаряженномъ конденсаторѣ, и 2) опредѣляютъ скорость опусканія облачка V_2 при сообщенной пластинамъ конденсатора опредѣленной разности потенціаловъ.

Такъ какъ опусканіе облачка, т. е. паденіе составляющихъ его капелекъ, происходитъ въ воздухѣ, а воздухъ представляетъ собою вязкую среду, оказывающую сопротивленіе движенію находящихся въ ней тѣлецъ, то скорости опусканія облачка въ двухъ этихъ случаяхъ пропорціональны силамъ, которыя увлекаютъ внизъ капельки.

Обозначая чрезъ m массу капельки, чрезъ g—ускореніе силы земного притяженія, чрезъ e зарядъ газіона,—ядра капельки,—и чрезъ F напряженіе электрическаго поля между пластинами конденсатора, причемъ $F = \frac{P_1 - P_2}{d}$, гдѣ $P_1 - P_2$ — разность потенціаловъ на пластинахъ конденсатора, а d—разстояніе между ними, мы имѣемъ:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{mg \pm Fe}{mg} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

Здѣсь поставлены два знака + или —, смотря по тому, какое направленіе придано электрическимъ силамъ въ пространствѣ между пластинами конденсатора.

По формулѣ, выведенной еще Стокесомъ.

$$V_1 = \frac{2}{9} \frac{a^2 \sigma}{\mu} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (2)$$

Въ этой формулѣ a обозначаетъ радіусъ капли, σ— плотность вещества капли (въ разсматриваемомъ случаѣ $\sigma = 1$), g, какъ и въ форм. (1), ускореніе силы тяжести, μ — коэффиціентъ вязкости влажнаго воздуха при соотвѣтствующей температурѣ.

Мы имѣемъ еще

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3 \sigma \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (3)$$

Изъ форм. (1), (2) и (3) находимъ

$$e = \left\{ \frac{4}{3} \pi \left(\frac{9\mu}{2g} \right)^{3/2} \right\} \cdot \frac{g}{F} \frac{(V_2 - V_1) V_1^{1/2}}{d^{1/2}} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (4)$$

или

$$e = \left\{ \frac{4}{3} \pi \left(\frac{9\mu}{2g} \right)^{3/2} \right\} \cdot \frac{g}{F} \frac{(V_1 - V_2) V_1^{1/2}}{d^{1/2}}$$

соотвѣтственно случаямъ: $V_2 > V_1$, или $V_2 < V_1$.

По способу Уильсона было произведено довольно большое число наблюденій. Эти наблюденія производили: самъ Уильсонъ, Милликенъ и Биджеменъ [1]), студ. Маликовъ и Алексѣевъ [2]), отдѣльно Милликенъ [3]), отдѣльно Биджеменъ [4]) и, наконецъ, въ нѣсколько измѣненномъ видѣ съ каплями масла, глицерина и ртути снова Милликенъ [5]). Послѣдняя работа представляетъ особенно большой интересъ.

Результаты, полученные этими наблюденіями въ абсол. электрост. ед. слѣдующіе:

H. A. Wilson . . . . . $e = 3{,}1 \times 10^{-10}$

Millikan and Begeman . $e = 4{,}06 \times 10^{-10}$ (среднее изъ $3{,}66 - 4{,}37 \times 10^{-10}$)

---

[1]) Millikan and Begeman. Phys. Rev. *26* p. 197 (1908).

[2]) Маликовъ и Алексѣевъ. Ж. Р. Ф. Х. О. *41* стр. 247 (1909).

[3]) Millikan. Phys. Mag. (6) *19* p. 209 (1910).

[4]) Begeman. Phys. Rev. *31* p. 41 (1910).

[5]) Millikan. Phys. Zeitschr. *11* s. 1099 (1910).

Маликовъ и Алексѣевъ. $e = 4{,}5 \times 10^{-10}$
Millikan . . . . $e = 4{,}65 \times 10^{-10}$
Begeman . . . . $e = 4{,}67 \times 10^{-10}$
Millikan (послѣдн. раб.). $e = 4{,}9 \times 10^{-10}$

Зарядъ газіона или іона одновалентнаго элемента является, повидимому [1]), наименьшимъ количествомъ электричества, съ какимъ намъ приходится встрѣчаться при наблюденіяхъ электрическихъ явленій. Послѣдняя работа Милликена даетъ, между прочимъ, весьма большое подтвержденіе правильности идеи, согласно которой какой бы то ни было зарядъ слагается изъ элементарныхъ зарядовъ, соотвѣтствующихъ газіонамъ и одновалентнымъ іонамъ. Такой зарядъ газіона или электролитическаго одновалентнаго іона и представляетъ собой *атомъ электричества*.

Но что же такое само электричество? Вѣдь, весьма недавно существовала въ наукѣ тенденція свести всѣ электрическія явленія къ явленіямъ чисто механическимъ, электризацію какого-либо тѣла объяснить какими-нибудь измѣненіями въ состояніи матеріальнаго атома.

Теперь взгляды совершенно измѣнились. Въ настоящее время мы представляемъ себѣ электричество, какъ особую субстанцію. Мы говоримъ объ атомахъ этой субстанціи, приписываемъ ей зернистое строеніе. Мы полагаемъ, что намъ удалось подмѣтить существованіе этой субстанціи отдѣльно отъ обыкновенной матеріи. Катодные лучи въ Круксовой трубкѣ и β-лучи, испускаемые радіоактивными веществами, нужно признать за потоки, очень большой скорости, атомовъ отрицательнаго электричества.

Еще въ 1879 г. Круксъ, подробно изучившій свой-

[1]) Въ недавнее время Эренгафтъ (Ehrenhaft. Phys. Zetischr. *12* s 94. 1911) пришелъ изъ своихъ наблюденій къ заключенію, что существуютъ еще меньшія количества электричества. Опыты Эренгафта не представляются однако убѣдительными.

ства катодныхъ лучей, высказалъ предположенiе, что эти лучи не представляютъ собою лучей въ истинномъ смыслѣ этого слова, но образуются летящими съ очень большими скоростями оторвавшимися отъ катода осколками атомовъ, наэлектризованными отрицательно. Эта мысль Крукса въ то время, когда она была высказана, не встрѣтила сочувствiя; напротивъ, противъ нея горячо протестовали. Но идея Крукса оказалась весьма близкой къ истинѣ. Многочисленныя и весьма тщательныя изслѣдованiя катодныхъ лучей, произведенныя во второй половинѣ девяностыхъ годовъ, послѣ открытiя Рёнтгеновыхъ лучей, окончательно устранили всякую возможность признавать катодные лучи за особый родъ свѣтовыхъ лучей. Эти изслѣдованiя строго доказали, что катодные лучи суть дѣйствительно потокъ особыхъ частичекъ, несущихъ вмѣстѣ съ собою вполнѣ опредѣленныя элементарныя количества электричества. Впервые въ 1897 году Дж. Дж. Томсонъ [1]) опредѣлилъ скорость движенiя этихъ частичекъ, *корпёслей (corpusles)*, какъ онъ ихъ назвалъ, а вмѣстѣ съ этимъ опредѣлилъ и величину отношенiя заряда каждой такой частички, выраженнаго въ электромагнитныхъ единицахъ, къ массѣ ея. Опредѣленiе обѣихъ этихъ величинъ получается изъ наблюденiй надъ отклоненiями катоднаго потока въ электрическомъ и магнитномъ поляхъ.

Пусть катодный потокъ пронизываетъ промежутокъ между двумя параллельными пластинами конденсатора и, пока этотъ конденсаторъ не наэлектризованъ, имѣетъ направленiе, параллельное поверхности пластинъ. Тогда при возбужденiи между пластинами конденсатора электрическаго поля съ напряженiемъ F (это напряженiе F равно $\frac{P_1-P_2}{d}$ если P_1-P_2 обозначаетъ разность потенцiа-

[1]) J. J. Thomson. Phil. Mag. *44* p. 213 (1897).

ловъ на пластинахъ, а d—разстояніе между ними) каждая частичка потока будетъ испытывать по направленію силовыхъ линій поля силу, равную Fe, если чрезъ e мы обозначимъ зарядъ этой частицы. Обозначая чрезъ m массу частички, чрезъ v—скорость, съ которой она движется въ катодномъ потокѣ и чрезъ t—время, въ теченіе котораго эта частичка пролетаетъ электрическое поле, мы получаемъ для отклоненія этой частички отъ направленія ея невозмущеннаго движенія выраженіе:

$$Y = \frac{1}{2}\,\frac{Fe}{m}\,t^2 \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

но $t = \frac{l}{v}$, если чрезъ l обозначимъ длину электрическаго поля. Подстановляя въ выраженіе (5) величину t, находимъ

$$Y = \frac{1}{2} \cdot \frac{Fe}{m^2} \cdot \frac{l^2}{v^2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (6)$$

Положимъ, что поперекъ катоднаго потока воз буждено магнитное поле напряженія H. Въ этомъ случаѣ каждая частичка, несущая съ собою зарядъ e и движущаяся со скоростью v, какъ токъ силою ev, будетъ испытывать перпендикулярно своему движенію, силу, равную Hev. Отклоненіе этой частички при пролетѣ ея чрезъ магнитное поле, по длинѣ равное L, выразится формулою:

$$Z = \frac{1}{2}\,\frac{Hev}{m}\left(\frac{L}{v}\right)^2 = \frac{1}{2}\,\frac{He}{m}\,\frac{L}{v} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (7)$$

Отклоненія Y и Z можно наблюдать по перемѣщенію свѣтлаго пятна, которое возбуждаетъ на фосфоресцирующемъ экранѣ, помѣщенномъ въ Круксовой трубкѣ, узкій пучекъ катодныхъ лучей, встрѣчающихъ этотъ экранъ.

Изъ формулъ 6 и 7, какъ легко видѣть, можно по-

лучить выраженіе для двухъ неизвѣстныхъ величинъ $\frac{e}{m}$ и v, какъ функціи величинъ, непосредственно получающихся изъ наблюденій.

Произведенныя по этому способу многочисленныя наблюденія съ катодными лучами дали для отношенія $\frac{e}{m}$ величины, весьма близкія къ средней величинѣ, равной $1,8 \times 10^7$.

Принимая какъ это, очевидно, и должно быть, что элементарныя количества электричества, съ которыми мы встрѣчаемся при наблюденіяхъ электролиза и явленія катодныхъ лучей, одинаковы и сравнивая между собою два полученныхъ изъ наблюденій отношенія:

для водороднаго электролитическаго іона $\frac{e}{m} = 10^4$

и для частички катоднаго потока $\frac{e}{m} = 1,8 \times 10^7$,

мы принуждены заключить, что масса частички катоднаго потока, масса корпёсля въ 1800 разъ меньше массы легчайшаго атома, атома водорода.

Наблюденія надъ дѣйствіемъ электрическаго и магнитнаго полей на направленія α-лучей и β-лучей, испускаемыхъ радіоактивными веществами, дали и для этихъ лучей возможность опредѣлить $\frac{e}{m}$ и v, т.-е. отношеніе положительнаго заряда α или отрицательнаго заряда β-частички къ массѣ соотвѣтствующей частицы и величину скорости полета той или другой изъ этихъ частицъ. Изъ этихъ наблюденій оказалось, что для α-частичекъ величина отношенія $\frac{e}{m}$ весьма близка къ величинѣ $0,5 \times 10^4$. А такъ какъ зарядъ α-частички, какъ показали изслѣдованія Рётсерфорда, въ два раза больше принимаемаго нами атома электричества, т. е. заряда электролитическаго іона водорода, то отсюда вытекаетъ, что масса α-частички въ четыре раза больше

массы атома водорода, она равна массѣ атома гелія. Какъ было уже упомянуто выше, Рётсерфордъ прямымъ опытомъ доказалъ, что α-частички суть атомы этого элемента.

Для β-лучей отношеніе $\frac{e}{m}$ получилось весьма близкимъ къ такому же отношенію для случая лучей катодныхъ. Вообще оказалось, что свойства обоихъ сортовъ лучей, т. е. β-лучей и катодныхъ лучей, почти одинаковы. Такого же порядка по величинѣ получилось отношеніе $\frac{e}{m}$ и изъ наблюденій надъ тѣми излученіями, какія происходятъ, когда наэлектризованный отрицательно металлическій проводникъ подвергается освѣщенію ультрафіолетовыми лучами, или когда угольная нить или проволока нагрѣваются при прохожденіи по нимъ электрическаго тока. Во всѣхъ этихъ случаяхъ необходимо допустить одинъ и тотъ же знакъ для e, равенство зарядовъ e, а слѣдовательно одинаковый порядокъ величины m.

Весьма интересно, что по теоріи Лоренца, принимающей, какъ причину возбужденія свѣта, колебаніе іоновъ, т. е. элементарныхъ, заряженныхъ электричествомъ, частичекъ въ источникѣ свѣта представляется возможность изъ измѣреній явленія Зеемана (раздвоеніе при извѣстныхъ условіяхъ спектральныхъ линій въ магнитномъ полѣ) опредѣлить для этихъ частичекъ величину $\frac{e}{m}$. Эта величина получилась того же порядка, какъ и въ только что приведенныхъ случаяхъ, но при этомъ оказалось, что зарядъ іоновъ въ источникѣ свѣта нужно признать отрицательнымъ.

Итакъ, въ катодныхъ лучахъ, въ лучахъ α и β, въ излученіяхъ отъ дѣйствія ультрафіолетоваго свѣта и теплоты и въ причинѣ, непосредственно возбуждающей свѣтовыя волны, мы имѣемъ дѣло съ одинаковыми

отрицательно наэлектризованными частичками, корпёслями, масса которыхъ около 1800 разъ меньше атома водорода.

Но недавнія изслѣдованія Кауфмана [1]), Бухерера [2]), Хупка [3]) заставляютъ отвергнуть матеріальность корпёслей, заставляютъ признать массу ихъ лишь фиктивною, ихъ же самихъ признать за элементарныя количества отрицательнаго электричества, за атомы электричества, электроны.

Въ самомъ дѣлѣ опыты этихъ ученыхъ показали, что какъ для β-лучей, такъ и для катодныхъ лучей отношеніе $\frac{e}{m}$ вообще порядка 10^7, не получается всегда однимъ и тѣмъ же по величинѣ, но нѣсколько измѣняется въ зависимости отъ величины скорости v, соотвѣтствующей изслѣдуемымъ лучамъ. Отношеніе $\frac{e}{m}$ уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ v. А поэтому, такъ какъ нѣтъ никакихъ основаній предполагать, что зарядъ e въ частичкахъ различныхъ лучей неодинаковъ приходится заключить, что масса каждой такой частички m является функціею v. Чѣмъ больше скорость частички, тѣмъ, оказывается, больше и соотвѣтствующая этой частичкѣ масса. Такимъ образомъ, получается результатъ, вполнѣ не подходящій ко всему тому, что мы выводимъ изъ наблюденій надъ движеніями матеріальныхъ тѣлъ. Это обстоятельство и представляетъ собою главное основаніе ученія, по которому частички въ β-лучахъ и катодныхъ лучахъ, т.-е. корпёсли, нематеріальны, не обладаютъ дѣйствительною массою, а суть атомы отрицательнаго электричества, электроны, и то, что мы считаемъ за массу ихъ, т.-е. величина,

---

[1]) W. Kaufmann. Ann. d. Phys. *46* s. 487 (1906).

[2]) A. Bucherer. Ann. d. Phys. (4) *28* s. 513, *29* s. 1063, *30* s. 974 (1909).

[3]) E. Hupka. Ber. d. Deutsch. Phys. Ges. 1909 s. 249.

обозначенная черезъ m, есть лишь кажущаяся, фиктивная масса.

Болѣе тридцати лѣтъ тому назадъ, въ апрѣлѣ 1881 года, Дж. Дж. Томсонъ [1]) въ одной изъ своихъ статей доказалъ чрезвычайно важное положеніе: онъ доказалъ, что матеріальная сфера, имѣющая опредѣленную массу и находящаяся въ движеніи, должна обладать не одинаковой энергіей, смотря по тому, будетъ ли она нейтральна, т.-е., не наэлектризована, или будетъ она нести вмѣстѣ съ собою электрическій зарядъ. Въ послѣднемъ случаѣ кинетическая энергія сферы больше, причемъ увеличеніе этой энергіи возрастаетъ вмѣстѣ съ увеличеніемъ заряда сферы. Это увеличеніе пропорціонально квадрату заряда сферы. Итакъ, движущаяся наэлектризованная сфера имѣетъ какъ будто большую массу сравнительно съ массою той же сферы, но не содержащей въ себѣ электричества. Отсюда можетъ быть сдѣлано заключеніе, что и безтѣлесная, геометрическая сфера, обладающая электричествомъ и находящаяся въ движеніи, должна обнаруживать свойства матеріальной сферы, должна проявлять энергію, имѣть какъ будто нѣкоторую массу.

Дж. Дж. Томсонъ вывелъ формулу для энергіи такой геометрической сферы, радіуса a, движущейся со скоростью v вмѣстѣ съ равномѣрно распредѣленномъ на ея поверхности зарядомъ e. Эта энергія W выражается чрезъ.

$$W = \frac{\mu e^2 v^2}{3a}.$$

Здѣсь μ обозначаетъ магнитную проницаемость среды, въ которой движется сфера. А слѣдовательно, въ пустотѣ и даже въ воздухѣ, для котораго, какъ и для

---

[1]) J. J. Thomson. Phil. Mag. (5) 11 p. 229 (1881).

пустоты, величина μ можетъ быть приравнена единицѣ, величина W выразится чрезъ

$$W=\frac{1}{3}\frac{e^2v^2}{a}.$$

Но эту энергію можно считать за кинетическую, если только приписать движущейся сферѣ фиктивную массу m, удовлетворяющую условію:

$$\frac{1}{2}\,m\,v^2=\frac{e^2v^2}{3a}.$$

Отсюда величина такой фиктивной массы выразится черезъ

$$m=\frac{2e^2}{3a}.$$

Этотъ результатъ вполнѣ понятенъ. Въ самомъ дѣлѣ, движущееся электричество вызываетъ явленія, вполнѣ аналогичныя съ тѣми, какія производитъ соотвѣтствующій по силѣ электрическій токъ, направленіе котораго совпадаетъ съ направленіемъ движенія электричества. Но электрическій токъ въ проводникѣ обладаетъ энергіею; при возбужденіи этого тока должна быть совершена опредѣленная работа, равнымъ образомъ такая же работа получается и при уничтоженіи этого тока.

Итакъ, движущееся электричество уподобляется движущемуся матеріальному тѣлу въ томъ смыслѣ, что и то, и другое, и электричество, и тѣло, придя въ покой, произведутъ работу, передадутъ имѣющуюся въ нихъ энергію чему-либо третьему. Мы можемъ, слѣдовательно, ввести понятіе о кажущейся массѣ движущагося электричества и можемъ измѣрить величину этой массы.

Въ своемъ изслѣдованіи Томсонъ ограничился разсмотрѣніемъ движенія наэлектризованной сферы только съ небольшими скоростями. Послѣ Томсона этотъ вопросъ теоретически былъ разработанъ Лоренцомъ, Абрагамомъ, Бухереромъ и др. въ болѣе общемъ слу-

чаѣ, т. е. для скоростей, даже весьма близкихъ къ скорости свѣта. Расходясь въ деталяхъ, всѣ изслѣдователи пришли къ заключенію, что при очень большихъ скоростяхъ движенія заряда, при скоростяхъ, сравнимыхъ со скоростью свѣта, кажущаяся масса заряда является функціею скорости движенія послѣдняго. Чѣмъ больше такая скорость, тѣмъ большею должна представляться и фиктивная масса заряда.

Какъ было указано, для корпёслей катодныхъ и β-лучей, скорости движенія которыхъ близки къ скорости свѣта, опытныя изслѣдованія Кауфмана, Бухерера и Хупка и показали подобную зависимость.

Произведенные до настоящаго времени опыты не даютъ еще возможности съ полною увѣренностью утверждать правильность той или другой теоріи, того или другого представленія о свойствахъ электрона. Еще нельзя вполнѣ строго рѣшить вопросъ, измѣняется или не измѣняется въ своей формѣ электронъ, когда онъ движется со скоростью, близкою къ скорости свѣта. Въ теоріи Абрагама электронъ принимается за абсолютно неизмѣнный, въ теоріи Лоренца онъ является измѣняемымъ. Изученіе конструкціи и внутреннихъ свойствъ электрона—предметъ будущихъ изслѣдованій.

Въ настоящее время возможно лишь допустить нематеріальность корпёслей, т.-е. разсматривать явленіе катодныхъ лучей и явленіе β-лучей, какъ явленія, въ которыхъ мы наблюдаемъ атомы отрицательнаго электричества, изолированными отъ обыкновенной матеріи.

Возможно ли существованіе атомовъ положительнаго электричества отдѣльно отъ вещества? На этотъ вопросъ пока нѣтъ еще вполнѣ обоснованнаго отвѣта ни въ положительномъ, ни въ отрицательномъ смыслѣ. Нѣкоторыя наблюденія какъ будто и даютъ на этотъ вопросъ положительный отвѣтъ, но эти наблюденія еще нельзя считать рѣшающими.

Итакъ, изслѣдованіе явленія катодныхъ лучей, явленія радіоактивности, вліянія ультрафіолетовыхъ лучей на металлы, испусканія потока электроновъ изъ тѣла при высокой температурѣ послѣдняго, измѣненія качества свѣта при возбужденіи въ источникѣ этого свѣта магнитнаго поля (явленіе Зеемана), а также изученіе дисперсіи свѣта въ разнообразныхъ тѣлахъ, изученіе магнитнаго вращенія плоскости поляризаціи свѣта и явленія флюоресценціи нѣкоторыхъ паровъ приводятъ къ необходимости допустить въ каждомъ электрически-нейтральномъ атомѣ вещества нахожденіе атомовъ отрицательнаго электричества, нахожденіе въ немъ электроновъ.

Эта укрѣпившаяся въ наукѣ идея объ электронахъ вызвала новое, очень смѣлое ученіе, устраняющее совершенно представленіе о веществѣ, обладающемъ инерціею и свойствомъ тяготѣнія, и разсматривающее матеріальный атомъ, составленнымъ исключительно изъ атомовъ электричества, положительныхъ и отрицательныхъ—въ равномъ числѣ.

Электрически нейтральный атомъ какого-либо тѣла — это агрегатъ одинаковаго числа положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, образующихъ собою, вслѣдствіе дѣйствія между ними электрическихъ силъ, систему въ устойчивомъ равновѣсіи. Электроны въ этой системѣ находятся въ непрерывномъ движеніи. Атомы различныхъ химическихъ элементовъ суть системы, отличающіяся одна отъ другой числомъ и относительнымъ расположеніемъ положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ. Масса каждаго атома, а слѣдовательно, и масса всего тѣла исключительно электромагнитныя. Всѣ междучастичныя силы въ тѣлѣ и силы притяженія между матеріальными тѣлами суть силы электрическія.

Таково основное положеніе современной, все болѣе и болѣе развивающейся, электронной теоріи вещества.

Итакъ, по этой теоріи, матеріальный атомъ состоитъ изъ электроновъ подобно тому, какъ звѣздныя системы состоятъ изъ отдѣльныхъ тѣлъ. Субстанція электроновъ, обладающая свойствомъ возбуждать вокругъ себя электрическое поле, вотъ тотъ матеріалъ, изъ котораго путемъ эволюціи возникли вполнѣ стройныя, прочныя системы, являющіяся для насъ въ видѣ атомовъ различныхъ химическихъ элементовъ. Однако, нѣкоторыя изъ этихъ системъ не вполнѣ прочны. Онѣ должны, поэтому, подвергаться измѣненіямъ, должны преобразоваться въ иныя системы, болѣе устойчивыя. Такими системами и являются атомы радіоактивныхъ элементовъ, отличающіеся отъ атомовъ прочихъ элементовъ своими очень большими атомными вѣсами, что, конечно, заставляетъ представлять ихъ, какъ системы, весьма сложной конструкціи. Электронная теорія устанавливаетъ, такимъ образомъ, единство происхожденія разнообразныхъ по своимъ свойствамъ химическихъ тѣлъ, сводитъ всѣ силы, которыя мы приписываемъ особому свойству матеріи, къ силамъ электрическимъ и даетъ возможность въ основу механики положить начала ученія объ электромагнетизмѣ. Это ученіе, весьма недавно возникшее, уже успѣло не только объяснить весьма многія явленія, но и предсказать новыя. Дальнѣйшее развитіе электронной теоріи, можно надѣяться, откроетъ и совсѣмъ неизвѣстныя пока намъ свойства тѣлъ.

Лордъ Кельвинъ[1]).

Эпинусъ атомизированный.

§ 1. Согласно извѣстной теоріи Эпинуса[2]), которую обыкновенно называютъ унитарной теоріей электричества, такъ какъ эта теорія допускаетъ существованіе только одной электрической жидкости, положительная или отрицательная электризація тѣла объясняется избыткомъ или недостаткомъ въ тѣлѣ особой, такъ называемой электрической жидкости, наполняющей пространство между атомами вѣсомой матеріи. Частицы матеріи, не обладающія электрической жидкостью, взаимно отталкиваются, частицы электрической жидкости также отталкиваются; частицы же электрической жидкости и частицы матеріи, свободной отъ жидкости, взаимно притягиваются.

---

[1]) Phil. Mag. *3*. p. 257 (1902) (Статья изъ юбилейнаго тома, поднесеннаго проф. Босска въ ноябрѣ 1901 г.).

[2]) Эпинусъ (1724—1802), извѣстный ученый, родился въ Германіи въ Ростокѣ, былъ проф. въ Берлинѣ, затѣмъ въ 1757 г. былъ приглашенъ въ С.-Петербургскую Академію наукъ на кафедру физики, которую занималъ до 1798 г. Умеръ въ Дерптѣ въ 1802 году. Его главное сочиненіе по физикѣ „Tentamen teoriae electricitatis et magnetismi“ сдѣлало эпоху въ исторіи науки. Эпинусъ устранилъ изъ ученія объ электричествѣ и магнетизмѣ картезіанскія представленія объ истеченіяхъ и ввелъ на ихъ мѣсто теорію одной электрической и одной магнитной жидкости, а также принципъ actio in distans.

Прим. перев.

§ **2**. Я представляю себѣ, что жидкость Эпинуса состоитъ изъ чрезвычайно малыхъ, равныхъ и подобныхъ другъ другу атомовъ, которые я называю электріонами[1]). Эти атомы значительно меньше атомовъ вѣсомой матеріи; они свободно проникаютъ черезъ части пространства, занятыя большими атомами вѣсомой матеріи, и такъ же свободно черезъ пространство, незанятое ими. Какъ и въ теоріи Эпинуса, мы имѣемъ отталкиванiе между электріонами, отталкиванiе между атомами, лишенными электріоновъ, и притяженiе между электріонами и атомами лишенными электріоновъ. Въ дальнѣйшемъ для сокращенія я буду называть атомомъ атомъ вѣсомой матеріи, безразлично, содержитъ ли онъ внутри себя электріоны или нѣтъ.

---

[1]) Я рѣшилъ предложить это названiе въ маленькой статьѣ, напечатанной въ „Nature" 27 мая 1897 г.; въ этой статьѣ, упомянувъ о старой идеѣ унитарной теоріи электричества, принимающей смоляное электричество за электрическую жидкость, я изложилъ слѣдующимъ образомъ мои тогдашніе взгляды: „Я предпочитаю разсматривать атомную теорію электричества, которая и Фарадэемъ и Максвеллемъ предполагалась достойной вниманія, которая вполнѣ ясно была высказана Гельмгольцемъ въ его послѣдней рѣчи въ Королевскомъ Институтѣ и въ настоящее время принята очень многими изъ современныхъ теоретиковъ и профессоровъ. Въ самомъ дѣлѣ Фарадэевскій законъ электрохимической эквивалентности, заставляетъ принять атомичность электричества и санкціонировать новый терминъ *электронъ*, введенный въ науку Джонстономъ Стонеемъ и употребляемый нынѣ для обозначенія атома какъ смоляного такъ и стекляннаго электричества. Болѣе старое, и въ настоящее время даже болѣе популярное слово іонъ, предложенное шестьдесятъ лѣтъ тому назадъ Фарадэемъ, соблазняетъ сдѣлать соотвѣтствующее измѣненіе въ немъ, ввести слово *электріонъ*, для обозначенія атома смоляного электричества. Теперь, принимая основныя положенія теоріи Эпинуса, измѣненной согласно взглядамъ Босковича,—мы можемъ представить себѣ, что каждый атомъ вѣсомой матеріи является электрономъ стекляннаго электричества; что этотъ электронъ вмѣстѣ съ нейтрализующимъ его и соприкасающимся съ нимъ электріономъ смоляного электричества, дѣйствуетъ на всякій

§ 3. На основаніи открытаго и экспериментально доказаннаго Кевэндишемъ и Кулономъ закона, гласящаго, что сила электрическихъ притяженій и отталкиваній обратно пропорціональна квадрату разстоянія, мы можемъ теперь предположить, что атомы, которые всѣ я принимаю сферическими, отталкиваютъ другіе внѣшніе атомы, съ силами обратно пропорціональными квадратамъ разстояній между центрами атомовъ; что то же самое относится и къ электріонамъ, которые безъ сомнѣнія занимаютъ конечныя части пространства, хотя въ настоящее время мы и считаемъ ихъ простыми математическими точками, обладающими свойствами электрическаго притяженія и отталкиванія. Мы должны теперь также предположить, что каждый атомъ притягиваетъ каждый электріонъ, который находится внѣ его, съ силой обратно пропорціональной квадрату разстояній между центрами атома и электріона.

§ 4. Мое допущеніе, что электріоны свободно проникаютъ пространство, занятое атомами, вызываетъ необходимость знать законъ, по которому дѣйствуетъ сила, испытываемая электріономъ внутри атома. Какъ рабочую гипотезу, я для простоты принимаю, что притяженіе, испытываемое приближающимся къ атому

внѣ его лежащій электронъ и электріонъ съ нѣкоторой равнодѣйствующей силой. Эта сила обратно пропорціональна кубу разстоянія и имѣетъ направленіе, которое опредѣляется по извѣстному закону параллелограмма силъ“. Очевидно, у меня не было тогда и мысли о гипотезѣ, предлагаемой въ настоящемъ сообщеніи, по которой въ то время, какъ электріоны проникаютъ свободно черезъ всякое пространство, наполнено ли оно однимъ эѳиромъ или занято объемомъ конечныхъ размѣровъ сферъ, атомами вѣсомой матеріи, каждый электріонъ внутри атома вѣсомой матеріи испытываетъ электрическую силу; эта сила направлена къ центру атома и совершенно такова, какая была бы, если бы атомъ содержалъ внутри себя неизмѣняемое по отношенію къ себѣ однородное распредѣленіе идеальной электрической матеріи.

электріономъ, измѣняется точно по закону обратной пропорціональности квадрату разстоянія отъ центра атома, пока электріонъ находится внѣ атома. Оно не измѣняется внезапно при вступленіи электріона внутрь атома; притяженіе постепенно убываетъ до нуля, измѣняясь прямо пропорціонально разстоянію электріона отъ центра атома, когда электріонъ, приближаясь къ центру, находится внутри сферической оболочки атома. То же самое было бы, если бы электрическая сила атома происходила отъ равномѣрнаго распредѣленія внутри атома идеальной электрической субстанціи, каждая безконечно малая часть которой отталкиваетъ безконечно малыя части идеальной субстанціи въ другихъ атомахъ и притягиваетъ электріоны по закону обратной пропорціональности квадратамъ разстояній. Но мы не можемъ сдѣлать подобное предположеніе относительно силы взаимодѣйствія между двумя налагающимися одинъ на другой атомами; мы должны оставаться свободными въ выборѣ закона силы притяженія или отталкиванія, какой мы найдемъ болѣе подходящимъ для объясненія электрическихъ, упругихъ и химическихъ свойствъ матеріи.

§ **5**. Всѣ электріоны, нейтрализующіе зарядъ какого-либо атома или группы атомовъ, содержатъ въ себѣ точно такое же количество электричества опредѣленнаго знака, какое (только съ обратнымъ знакомъ) имѣетъ атомъ или группа атомовъ. Число электріоновъ въ одномъ атомѣ можетъ равняться одному, двумъ, тремъ или какому-нибудь другому цѣлому числу, и это число не должно быть обязательно однимъ и тѣмъ же для всѣхъ атомовъ. Соотвѣтственно этому удобно ввести слѣдующія обозначенія для атомовъ: моноэлектріонный, діэлектріонный, тріэлектріонный, тетраэлектріонный, поліэлектріонный и т. д. Возможно, что различіе въ свойствахъ атомовъ разныхъ веществъ, отчасти

обусловлено числомъ содержащихся въ нихъ электріоновъ. Но возможно также, что это различіе въ ихъ свойствахъ вполнѣ объясняется по Босковичу различіемъ въ законахъ, по которымъ дѣйствуютъ междуатомныя силы и не предполагаетъ никакого различія въ числѣ электріоновъ, входящихъ въ составъ атома.

§ **6**. Съ другой стороны, можно держаться той точки зрѣнія, что количество нейтрализующихъ электріоновъ въ одномъ атомѣ можетъ не равняться цѣлому числу. Такъ, напр., молекула двуатомнаго газа — кислорода, азота, водорода или хлора — можетъ имѣть три или нѣкоторое другое нечетное число нейтрализующихъ электріоновъ. Въ этомъ случаѣ атомы *O, N, H, Cl*, если они могутъ существовать въ отдѣльности, должны быть наэлектризованы стекляннымъ или смолянымъ электричествомъ, а не могутъ оставаться нейтральными.

§ **7**. Употребляемая въ настоящее время для обозначенія двухъ родовъ электризаціи, названія — положительная и отрицательная электризація возникли безъ сомнѣнія вмѣстѣ съ употребленіемъ стеклянныхъ шаровъ и цилиндровъ въ обыкновенныхъ электрическихъ машинахъ, дававшихъ стеклянное электричество на изолированномъ главномъ кондукторѣ и смоляное электричество на трущихъ стекла, не всегда вполнѣ изолированныхъ, подушечкахъ. Такъ Эпинусъ и его послѣдователи и думали, что главный кондукторъ ихъ машинъ даетъ настоящую электрическую жидкость, а недостатокъ ея въ натирающихъ подушкахъ пополняется изъ земли. Любопытно читать въ отчетѣ Беккарія о его наблюденіяхъ, произведенныхъ въ 1710 г, въ Гарзеньѣ въ Піемонтѣ, надъ атмосфернымъ электричествомъ, „объ умѣренномъ избыткѣ электричества въ атмосферѣ въ ясную погоду“. По современной терминологіи надо было бы сказать: слабое положительное электричество. Смыслъ обоихъ этихъ выраженій, безъ

допущенія какой-либо натяжки, это слабое стеклянное электричество въ атмосферѣ въ ясную погоду.

§ 8. Въ математической теоріи статическаго электричества совершенно безразлично, какое изъ двухъ противоположныхъ электрическихъ состояній мы назовемъ положительнымъ и какое отрицательнымъ. Но уже въ самую раннюю эпоху науки объ электричествѣ были извѣстны большія различія въ явленіяхъ разряда и свѣченія, обнаруживаемыя двумя родами электризаціи, когда электрическія силы слишкомъ велики, чтобы выдержать электрическое равновѣсіе. Это показываетъ что физическія особенности не затронуты математической теоріей. Сравнительно недавнее открытіе Варлеемъ [1]) потока заряженныхъ смолянымъ электричествомъ частицъ, выбрасываемыхъ катодомъ (электродомъ заряженнымъ смолянымъ электричествомъ) въ приборѣ, предназначенномъ для пропусканія тока черезъ пустоту или сильно разрѣженный воздухъ, даетъ серьезное основаніе принять, что въ теоріи Эпинуса подвижнымъ электричествомъ нужно считать смоляное, а не стеклянное, какъ сдѣлалъ это случайно Эпинусъ. Поэтому я предполагаю, что наши электріоны ведутъ себя какъ чрезвычайно малыя частицы смоляно-наэлектризованной матеріи, что атомъ безъ электріоновъ дѣйствуетъ просто какъ маленькій шарикъ атомной субстанціи, существеннымъ свойствомъ котораго является обладаніе стекляннымъ электричествомъ, однородно распредѣленнымъ въ немъ или въ меньшей концентрической съ нимъ сферѣ. Обыкновенная не наэлектризованная вѣсомая матерія состоитъ изъ огромнаго скопленія атомовъ, содержащихъ внутри занимаемой ими части пространства достаточное число электріоновъ, чтобы уничтожить дѣйствіе электрической силы во

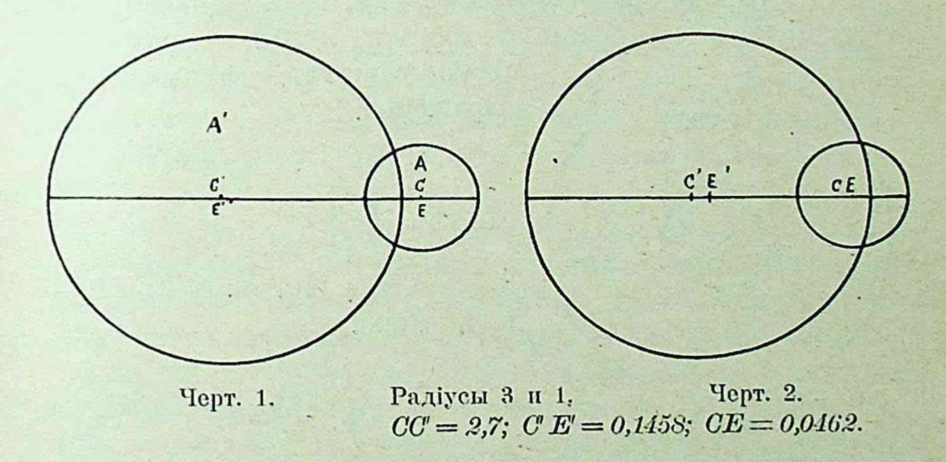
[1]) Proc. Roy. Soc. *19* pp. 239, 240 (1871).

всѣхъ точкахъ пространства, разстояніе которыхъ отъ ближайшаго атома велико по сравненію съ діаметромъ атома или съ діаметромъ молекулярной группы атомовъ.

§ 9. Это ограниченіе относительно разстояній, было-бы, если принять во вниманіе законъ дѣйствія силы обратно пропорціонально квадрату разстоянія, не нужно, и электрическая сила была бы строго равна нулю во всемъ пространствѣ внѣ атомовъ, если каждый атомъ имѣлъ-бы только одинъ электріонъ въ своемъ центрѣ и если бы въ атомѣ и въ электріонѣ количества противоположныхъ электричествъ (вычисленныхъ согласно старому опредѣленію математической электростатики) были бы равны. Но, если даже каждый отдѣльный нейтрализованный атомъ содержитъ внутри себя только по одному электріону, въ устойчивомъ равновѣсіи въ центрѣ, то, очевидно, что, когда два атома наложатся одинъ на другой такъ далеко, что центръ одного изъ нихъ будетъ находиться внутри сферической оболочки другого, первоначальное равновѣсіе двухъ электріоновъ нарушится и они займутъ положеніе равновѣсія гдѣ-нибудь въ другомъ мѣстѣ, а не въ центрахъ атомовъ. Такъ на черт. 1 каждый электріонъ находится въ центрѣ своего атома, онъ притягивается и отталкивается сосѣднимъ атомомъ и находящимся въ его центрѣ электріономъ съ равными силами. На черт. 2, если-бы E и E' находились въ центрахъ C и C' двухъ атомовъ, то E' отталкивалъ бы электріонъ E сильнѣе, чѣмъ притягивалъ бы его атомъ A'. Поэтому, если оба электріона свободны, то E отодвинется направо. Вслѣдствіе же уменьшенія силы отталкиванія, направленной на электріонъ E', E' послѣдуетъ за E въ томъ же самомъ направленіи.

Уравненіе равновѣсія электріоновъ могутъ быть легко составлены, но не такъ легко рѣшить эти уравненія, если не сдѣлать нѣкоторой маленькой ариѳметической хитрости.

Точное рѣшеніе указано подъ черт. 2. для случая, когда радіусъ одного атома въ три раза больше радіуса другого, а разстояніе между центрами атомовъ въ 2,7 разъ больше меньшаго радіуса [1]).



Черт. 1. Радіусы 3 и 1. Черт. 2.
$CC' = 2{,}7;\ C'E' = 0{,}1458;\ CE = 0{,}0462.$

Формулы, приведенныя въ примѣчаніи, показываютъ что, если сдвинуть атомы немного ближе, то равновѣсіе сдѣлается неустойчивымъ, и мы можемъ заключить что оба электріона перемѣстятся вправо, E' помѣстится въ нѣкоторой точкѣ внутри атома A влѣво отъ его

---

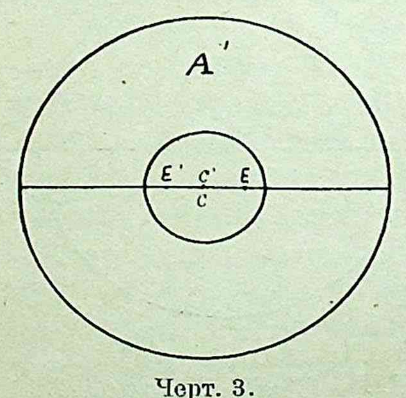
[1]) Обозначая черезъ e количество электричества стекляннаго или смоляного въ каждомъ атомѣ или электріонѣ; черезъ ζ разстояніе между центрами атомовъ; черезъ α и α'—радіусы двухъ атомовъ, черезъ x и x'—смѣщенія электріоновъ отъ центровъ и черезъ X и X' силы, испытываемыя электріонами, мы получимъ:

$$X = e^2\left[-\frac{x}{\alpha^3} + \frac{1}{(\zeta+x-x')^2} - \frac{\zeta+x}{\alpha'^3}\right];$$

$$X' = e^2\left[-\frac{x'}{\alpha'^3} + \frac{1}{(\zeta-x')^2} - \frac{1}{(\zeta+x-x')^2}\right].$$

Каждое изъ этихъ равенствъ, приравненное нулю для случая равновѣсія, даетъ намъ два уравненія, которыя не легко рѣшить, приступая сразу къ нахожденію двухъ неизвѣстныхъ x и x', но которыя можно рѣшить при помощи метода послѣдовательныхъ

центра, а E въ точкѣ лежащей внѣ A', но все еще внутри A. Если, наконецъ, приближать центры атомовъ все ближе и ближе другъ къ другу до полнаго ихъ совмѣщенія, то E въ свою очередь попадетъ внутрь A'. Оба электріона расположатся такъ, какъ показано на черт. 3, по обѣ стороны отъ общаго центра на разстояніяхъ равныхъ слѣдующему выраженію:



Черт. 3.
$E'C = CE = 0{,}622.$

$$\frac{1}{2}\sqrt[3]{\frac{2}{\frac{1}{a^3}+\frac{1}{a'^3}}},$$

которое для случая $a'=3a$ будетъ равно:

$$\frac{1}{2}\,a\sqrt[3]{\frac{2.27}{28}} = 0{,}622\,a$$

приближеній слѣдующимъ образомъ: пусть $x_0, x_1, \ldots\ldots x_i$; $x'_0, x'_1, \ldots\ldots x'_i$; —суть послѣдовательныя приближенія къ точнымъ значеніямъ x и x'; положимъ:

$$x_{i+1} = \frac{1}{\frac{1}{a^3}+\frac{1}{a'^3}}\left(\frac{1}{D_i^2} - \frac{\zeta}{a'^3}\right);$$

$$x'_{i+1} = a'^3 \left\{\frac{1}{(\zeta - x'_i)^2} - \frac{1}{(\zeta + x_{i+1} - x'_i)^2}\right\};$$

гдѣ $D_i^2 = (\zeta + x_i - x'_i)^2$. Напримѣръ возьмемъ $a = 1$, $a' = 3$. Чтобы найти рѣшенія для случая послѣдовательныхъ приближеній двухъ центровъ, беремъ послѣдовательно: $\zeta = 2{,}9$; $2{,}8$; $2{,}7$; $2{,}6$. Начинаемъ съ $x_0=0$, $x'_0=0$; тогда мы найдемъ $x_4=0{,}01243$, $x'_4=0{,}0297$ и тѣ же значенія для x_5 и x'_5. Затѣмъ беремъ $\zeta=2{,}8$, $x_0=0{,}01243$, $x_0'=0{,}0297$; мы найдемъ $x_4=x_5=0{,}0269$; $x'_4=x'_5=0{,}0702$. Такимъ образомъ мы имѣемъ рѣшеніе для второго разстоянія между центрами. Затѣмъ беремъ; $\zeta=2{,}7$, $x_0=0{,}0269$, $x'_0=0{,}0702$; тогда найдемъ: $x_6=x_7=0{,}0462$, $x'_6=x'_7=0{,}1458$. Поступая подобнымъ же образомъ для $\zeta = 2{,}6$ мы не получимъ сходныхъ значеній x и отсюда заключаемъ, что неустойчивое положеніе равновѣсія было достигнуто электріонами при нѣкоторомъ значеніи ζ, заключающемся въ промежуткѣ между 2,7 и 2,6.

§10. Взаимодѣйствія подобнаго рода, вѣроятно, могутъ происходить въ такихъ бинарныхъ соединеніяхъ, какъ O_2, N_2, H_2, Cl_2, *CO*, *SO*, *NaCl* (сухая обыкновенная поваренная соль), если каждый простой атомъ *O*, *N*, *H*, *Cl*, *C**), *S*, *Na***), имѣетъ только одинъ нейтрализующій его электріонъ. Если соединеніе настолько тѣсное, что центры атомовъ совпадаютъ, то два электріона будутъ оставаться неподвижными на равныхъ разстояніяхъ по обѣ стороны отъ общаго центра атомовъ, какъ указано въ концѣ § 9. Я не вижу въ настоящее время основаній отрицать возможность подобнаго случая для *SO* или для какого-нибудь другого бинарнаго соединенія двухъ атомовъ качественно различныхъ, ибо ни для одного изъ этихъ атомовъ нѣтъ никакихъ основаній предполагать число нейтрализующихъ электріоновъ не точно равнымъ единицѣ. Но въ случаѣ бинарныхъ соединеній двухъ качественно тождественныхъ атомовъ, какъ принимаютъ это химики въ двухатомныхъ газахъ (O_2, N_2, и т. д.), кромѣ электрическаго отталкиванія двухъ одинаково наэлектризованныхъ шаровъ должно быть сильное атомное отталкиваніе, которое не допускаетъ устойчиваго равновѣсія, съ совпадающими центрами атомовъ. Однако, въ этомъ случаѣ атомы могутъ быть прочно соединены вслѣдствіе того, что ихъ притягиваютъ два взаимно отталкивающіеся электріона, находя-

---

*) Сложность углеводородныхъ соединеній и данная Вантъ-Гоффомъ и Лебелемъ теорія ассимметричныхъ результатовъ (chirality), вслѣдствіе четырехвалентности углерода, оправдываютъ предположеніе, что углеродный атомъ содержитъ по крайней мѣрѣ четыре электріона, необходимые для нейтрализаціи его электрическаго заряда.

**) Тотъ фактъ, что твердый или жидкій натрій является металлическимъ проводникомъ, позволяетъ считать атомъ натрія, какъ и атомы прочихъ металлическихъ элементовъ, содержащихъ большое число электріоновъ, необходимыхъ для его нейтрализаціи (см. ниже § 30).

щіеся внутри атомовъ. Безъ атомнаго отталкиванія два подобные атома образовали бы одинъ атомъ, который никакими возможными силами природы нельзя было бы снова расщепить на два.

§ 11. Возвратимся къ черт. 3 и положимъ, что мы постепенно раздвигаемъ оба атома изъ концентрическаго положенія, въ которомъ они находились. Понятно, что оба электріона стремятся остаться внутри меньшаго атома *A* лишь немного выходя изъ положеній, равно удаленныхъ по обѣ стороны отъ центра, вслѣдствіе притяженія къ центру *A'*. Когда *A'* будетъ безконечно далеко, то электріоны будутъ расположены по обѣ стороны отъ центра *A* на разстояніяхъ равныхъ $\frac{1}{2} a \sqrt[3]{2} = 0{,}62996a$. Возьмемъ вмѣсто двухъ моноэлектріонныхъ атомовъ два поліэлектріонныхъ и будемъ дѣйствовать такъ же какъ въ § 9; тогда мы найдемъ, что послѣ разъединенія ихъ, число электріоновъ въ меньшемъ атомѣ возрастаетъ, а въ большемъ убудетъ. Это случится и тогда, когда разница въ величинѣ діаметровъ гораздо меньше разности между 3 и 1 (что мы имѣли для вышихъ моноэлектріонныхъ атомовъ въ § 9). Этотъ выводъ въ высшей степени замѣчателенъ; онъ указываетъ возможность правильнаго объясненія перваго извѣстнаго намъ электрическаго свойства метеріи: именно притяженія и отталкиванія, обнаруживаемыхъ натертымъ янтаремъ.

Если два идеально твердыхъ тѣла, состоящія изъ комплекса моноэлектріонныхъ атомовъ, весьма различныхъ размѣровъ прижать другъ къ другу и потереть, а затѣмъ раздѣлить, то они навѣрно обнаружатъ свойства противоположно наэлектризованныхъ тѣлъ. Преобладаніе электріонныхъ свойствъ будетъ на сторонѣ того комплекса, атомы котораго меньше. Допуская, какъ и раньше, что электричество электріоновъ смоля-

ное, мы увидимъ, что если сжать и потереть другъ о друга два комплекса атомовъ, то комплексъ меньшихъ атомовъ будетъ наэлектризованъ смолянымъ, а комплексъ бо́льшихъ атомовъ стекляннымъ электричествомъ. Вѣроятно, это и даетъ правильное объясненіе давно извѣстному факту, что матовое стекло обладаетъ смоляными свойствами относительно полированнаго стекла. Быть можетъ процессъ полировки, сглаживая поверхность, вгоняетъ внутрь меньшіе атомы и позволяетъ большимъ атомамъ сильнѣе дѣйствовать на поверхности тѣла.

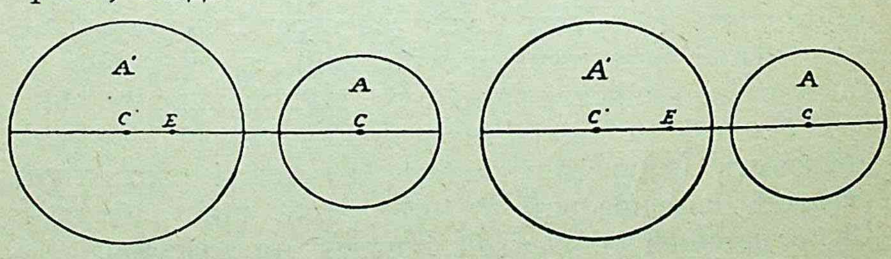
§ **12**. На основаніи этого же самаго принципа объясняется, вѣроятно, открытіе Ерскина Муррея [1]), который нашелъ, что поверхности металловъ, хорошо очищенныя стеклянной или наждачной бумагой и отполированныя круглымъ, твердымъ стальнымъ полировальникомъ, дѣлаются болѣе электроположительными (или менѣе электроотрицательными) въ ряду Вольта. Такъ, напр., цинковая пластинка, вычищенная стеклянной бумагой и тщательно отполированная твердымъ стальнымъ полировальщикомъ, повысила контактную разность потенціаловъ на 0,23 вольта выше обычной. Снова потертая стеклянной бумагой эта пластинка сбавила эту разность до обычной величины. Мѣдныя пластинки, обработанныя подобнымъ же образомъ, обнаруживаютъ измѣненія электрическихъ свойствъ почти въ той же мѣрѣ и въ томъ же направленіи. Между очень хорошо отполированнымъ цинкомъ и очищенной наждачной бумагой мѣдью, Муррей нашелъ разность потенціаловъ 1,13 вольта, которая, я думаю, значительно больше, чѣмъ извѣстная прежде наибольшая величина

---

[1]) E. Murray. „On Contact Electricity of Metals". Proc. Roy. Soc. *63* p. 113 (1898). См. также: Lord Kelvin. „Contact Electricity of Metals". Phil. Mag. *46* pp. 96—98 (1898).

разности потенціаловъ между чистыми металлическими поверхностями цинка и мѣди.

§ **13.** Чтобы иллюстрировать еще разъ стремленія (§ 9) меньшаго атома отнимать электріонъ отъ бо̀льшаго, разсмотримъ два атома: большій A' радіуса α', содержащій сначала одинъ электріонъ внутри себя, и меньшій атомъ A радіуса α, безъ электріоновъ. Допустимъ, что подъ дѣйствіемъ идеальныхъ силъ, приложенныхъ только къ атомамъ, причемъ электріонъ остается свободнымъ, атомы приближаются другъ къ другу съ очень большого разстоянія. Сначала притяженіе A лишь немного выводитъ электріонъ изъ центра A', но съ уменьшеніемъ разстоянія между атомами притяженіе A увеличивается и электріонъ все болѣе и болѣе уклоняется отъ центра. Каково будетъ положеніе электріона, когда



Черт. 4.
$\alpha' = 1$; $CC' = 2$; $C'E = 0{,}38$.

Черт. 5.
$C'C = 1{,}89$; $C'E = 0{,}63$.

разстояніе между центрами атомовъ равно $2\alpha'$, какъ на черт. 4? Безъ вычисленія мы видимъ, что электріонъ былъ бы въ равновѣсіи, если бы онъ находился въ точкѣ, въ которой поверхность A', пересѣкаетъ прямую линію, соединяющую центры атомовъ, но такое равновѣсіе очевидно будетъ неустойчивымъ. Простой расчетъ [1]) показываетъ, что электріонъ займетъ положеніе

[1]) Обозначая разстояніе между центрами черезъ ζ, и черезъ X силу, дѣйствующую на электріонъ E, когда его разстояніе отъ C' есть x', мы получимъ:

устойчиваго равновѣсія на разстояніи $0{,}38\alpha'$ отъ C, когда разстояніе между центрами равно $2\alpha'$ (черт. 4). Если разстояніе между центрами уменьшится отъ $2\alpha'$ до $1{,}89\alpha'$ (α предполагается теперь немного меньше $0{,}89\alpha'$), то электріонъ постепенно перемѣщается на разстояніе, равное $0{,}63\alpha'$ отъ C' (черт. 5); его равновѣсіе дѣлается неустойчивымъ и онъ выскакиваетъ изъ A' по направленію къ A (подобно пробкѣ, выскакивающей изъ бутылки). Онъ быстро пройдетъ черезъ A (A' и A неподвижны) и сдѣлаетъ нѣсколько колебаній. Число этихъ колебаній можетъ[1]) равняться десяти—двадцати, если электріонъ обладаетъ кажущейся инерціей, возникающей вслѣдствіе сгущеній и разрѣженій [2]) въ эфирѣ; или это число можетъ быть во много

$$X = e^2\left[\frac{1}{(\zeta - x')^2} - \frac{x'}{\alpha'^3}\right]$$

отсюда для равновѣсія имѣемъ:

$$\frac{1}{(\zeta - x')^2} = \frac{x'}{\alpha'^3}.$$

Это кубическое уравненіе относительно x', точный корень котораго (меньшій) для случая $\zeta = 2\alpha'$ равенъ $0{,}38\alpha'$.

Въ первой формулѣ X имѣетъ наименьшее значеніе при $\zeta - x = \alpha'\sqrt[3]{2}$, что даетъ;

$$X = \frac{e^2}{\alpha'^2}\left[\frac{3}{2}\sqrt[3]{2} - \frac{\zeta}{\alpha'}\right].$$

Отсюда заключаемъ, что величина x' для случая равновѣсія соотвѣтствуетъ наименьшему значенію X, и равновѣсіе дѣлается неустойчивымъ, когда ζ уменьшается до величины $\frac{3\sqrt[3]{2}}{2}\alpha' = 1{,}890\,\alpha'$. Для этого случая значеніе x' есть $\frac{\sqrt[3]{2}}{2}\alpha' = 0{,}63\,\alpha'$.

[1]) Lord Kelvin. „On the Production of Wave Motion in an Elastic Solid" Phil. Mag. Oct. 1899. § 44.

[2]) Lord Kelvin. „On the Motion of Ponderable Matter through Space occupied by Ether". Phil. Mag. Aug. 1900. §§ 715, 1.

разъ больше, если электріонъ имѣетъ настоящую собственную инерцію. Затѣмъ съ уменьшеніемъ величины размаховъ онъ быстро придетъ въ состояніе покоя, расположившись внутри атома A нѣсколько въ сторонѣ отъ центра вслѣдствіе притяженія атомомъ A'.

Если, наконецъ, атомы A и A' будутъ раздвинуты, какъ и въ самомъ началѣ на большое разстояніе, то электріонъ не вернется въ свое первоначальное положеніе въ A', а придетъ въ центръ A и тамъ останется. Итакъ мы имѣемъ здѣсь другую иллюстрацію того, что меньшій атомъ стремится отнимать электріоны отъ большаго (§ 9).

14. Если мы помѣшаемъ двумъ атомамъ быстро соединиться, противодѣйствуя силѣ притяженія электріона, мы во время ихъ сближенія пріобрѣтемъ работу, бóльшую работы, совершаемой впослѣдствіи при раздѣленіи атомовъ; въ этомъ случаѣ мы оставимъ систему, лишенную части энергіи, унесенной въ пространство эѳирными волнами.

§ **15.** Система въ ея конечномъ положеніи съ электріономъ въ центрѣ меньшаго атома, имѣетъ меньшую потенціальную энергію, чѣмъ въ началѣ (когда электріонъ былъ въ центрѣ A'), на разность работы, пріобрѣтенной при приближеніи атома и работы, которая должна быть затрачена на окончательное раздѣленіе A' и A, плюсъ количество энергіи, унесенной эѳирными волнами. Всѣ эти величины за исключеніемъ послѣдней, легко подсчитать на основаніи алгебраическихъ формулъ, приведенныхъ въ примѣчаніи къ § 13; отсюда мы найдемъ, какъ велика потеря энергіи, уносимой эѳирными волнами.

§ **16.** Очень интересной статической задачей является изслѣдованіе равновѣсія двухъ или болѣе электріоновъ внутри атома. При этомъ атомъ можетъ быть поліэлектріоннымъ съ числомъ электріоновъ, достаточнымъ для

полной нейтрализаціи атома, или онъ можетъ обладать нѣкоторой электрической силой, заключая въ себѣ какое-нибудь число электріоновъ до наибольшаго, какое онъ можетъ имѣть. Чтобы помочь легче выяснить наши идеи, замѣтимъ прежде всего, что если число электріоновъ будетъ безконечно большимъ, т. е. если мы вернемся къ электрической жидкости Эпинуса, но при этомъ допустимъ, что эта жидкость свободно проходитъ сквозь атомъ какого бы то ни было строенія и имѣющій данное, произвольное, фиксированное въ немъ распредѣленіе противоположнаго по знаку электричества, то наибольшее количество жидкости, которое атомъ можетъ содержать, точно равно его собственному количеству электричества; и жидкость должна размѣститься въ каждой части атома съ плотностью, равной плотности электричества послѣдняго. Отсюда, если атомъ сферическій и одинаковой электрической плотности во всемъ своемъ объемѣ, какъ мы предположили, и если число нейтрализующихъ электріоновъ очень большое, то ихъ конфигурація при равновѣсіи будетъ представлять собою комплексъ тѣмъ болѣе одинаковой плотности отъ поверхности къ центру, чѣмъ число электріоновъ больше. Какой либо однородный комплексъ Браве былъ бы очень близокъ къ равновѣсію, если бы всѣ электріоны въ поверхностномъ слоѣ, толщиною въ сто разъ больше кратчайшаго разстоянія между электріонами, были бы закрѣплены неподвижно; но это равновѣсіе было бы неустойчивымъ кромѣ опредѣленныхъ случаевъ. Весьма вѣроятно, что устойчивое равновѣсіе получится, для однороднаго комплекса, который я назвалъ [1] равностороннимъ. Это такой комплексъ, въ которомъ каждый электріонъ съ любыми

[1] „Molecular Tactics of a Cristal" § 4; вторая Роберта Бойля лекція прочитанная передъ младшимъ научнымъ клубомъ при

двумя изъ сосѣднихъ ему двѣнадцати электріоновъ образуетъ равносторонній треугольникъ. Если всѣ электріоны поверхностного слоя сдѣлать совершенно свободными, то незначительное перемѣщеніе ихъ и еще болѣе незначительное перемѣщеніе сосѣднихъ электріоновъ находящихся внутри атома приведетъ все множество ихъ (тысячи или милліоны) къ равновѣсію. Этотъ вопросъ въ высшей степени интересенъ съ точки зрѣнія геометріи, динамики и физики, но въ настоящее время онъ не можетъ быть изслѣдованъ дальше.

§ 17. Для того, чтобы разобраться въ вопросѣ объ устойчивомъ равновѣсіи незначительнаго числа электріоновъ, внутри атома, замѣтимъ напередъ, что въ этомъ случаѣ для какого-нибудь числа электріоновъ можетъ установиться равновѣсіе, если всѣ электріоны расположатся на одной сферической поверхности, концентрической съ атомомъ. Чтобы доказать это, отбросимъ на моментъ атомъ и представимъ себѣ, что электріоны, каково бы ни было ихъ число, привязаны къ концамъ равныхъ нерастяжимыхъ нитей, другіе концы которыхъ закрѣплены въ одной точкѣ *C*. Каждая нить будетъ натянута вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія электріоновъ. Получится одно или нѣсколько расположеній, дающихъ равновѣсіе электріоновъ на одной сферической поверхности. Сколько бы ни было этихъ расположеній, для насъ существенной является только одна изъ нихъ, дающая устойчивое равновѣсіе. Замѣтимъ также, что здѣсь всегда возможно одно положеніе равновѣсія, когда всѣ нити находятся въ одной плоскости и электріоны равномѣрно расположены по одному большому кругу сферы. Это единственная конфигурація для двухъ или трехъ электріоновъ. Для

Оксфордскомъ университетѣ 16-го мая 1893 г. (Clarendon Press, Oxford).

всякаго же числа ихъ, большаго трехъ, она, какъ легко доказать, будетъ неустойчивой и поэтому является не единственной конфигураціей, дающей равновѣсіе. Для четырехъ электріоновъ, кромѣ неустойчиваго равновѣсія въ одной плоскости, есть очевидно еще только одна устойчивая конфигурація, при которой четыре электріона располагаются въ четырехъ вершинахъ равносторонняго тетраэдра.

§ **18**. Для пяти электріоновъ мы имѣемъ, конечно, устойчивое равновѣсіе, въ томъ случаѣ, когда три изъ этихъ электріоновъ расположены въ одной плоскости, проходящей черезъ *C*, а остальные два находятся въ равныхъ разстояніяхъ отъ плоскости на концахъ линіи перпендикулярной къ этой плоскости. Въ этомъ случаѣ имѣется также по крайней мѣрѣ одна другая конфигурація равновѣсія. Представимъ себѣ, что четыре электріона удерживаются въ свободно движущейся плоскости. Мы получимъ устойчивое равновѣсіе, когда эта плоскость будетъ находиться на нѣкоторомъ разстояніи отъ центра, а пятый электріонъ помѣщается на діаметрѣ, перпендикулярномъ къ этой плоскости. Для всякаго большаго числа электріоновъ мы подобнымъ же образомъ найдемъ конфигурацію равновѣсія, воображая, что всѣ электріоны кромѣ одного удерживаются въ свободно движущейся плоскости. Но все таки безъ вычисленія не легко понять даже для случая только пяти электріоновъ, что равновѣсіе останется устойчивымъ, если исчезнетъ причина сдерживающая всѣ электріоны, кромѣ одного, въ одной плоскости. Если число электріоновъ больше пяти, то, очевидно, это равновѣсіе будетъ неустойчивымъ.

§ **19**. Для шести электріоновъ мы имѣемъ конфигурацію устойчиваго равновѣсія, если электріоны расположены на шести вершинахъ правильнаго октаэдра; для восьми—на восьми вершинахъ куба. Для десяти,

какъ и для всякаго четнаго числа, мы получимъ двѣ конфигураціи равновѣсія (вѣроятно обѣ неустойчивыя для большихъ чиселъ). Въ этомъ случаѣ каждая половина числа электріоновъ располагается на одной изъ двухъ плоскостей, лежащихъ на равныхъ разстояніяхъ по обѣ стороны отъ центра. Для двѣнадцати электріоновъ мы имѣемъ конфигурацію устойчиваго равновѣсія, когда электріоны расположены въ двѣнадцати ближайшихъ къ C положеніяхъ — въ „равносторонне-однородной совокупности точекъ“ [1]). Для двадцати электріоновъ — устойчивое расположеніе въ двадцати вершинахъ пятиугольнаго додекаэдра. Всѣ эти конфигураціи, указанныя въ § 19 за исключеніемъ конфигураціи для десяти электріоновъ, устойчивы, если мы предполагаемъ, что электріоны удерживаются на сферической поверхности, по которой они могутъ свободно передвигаться.

§ **20**. Натяженія нитей, за исключеніемъ случая § 18, равны для всѣхъ электріоновъ въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ. Поэтому мы отбросимъ теперь нити и помѣстимъ электріоны въ атомъ на одну концентрическую съ нимъ, сферическую поверхность. Притяженіе электріоновъ атомомъ по направленію къ его центру, замѣняетъ натяженіе нитей, если оно имѣетъ надлежащую величину. Но оно не устраняетъ такъ надежно, какъ нити, неустойчивость въ отношеніи радіальныхъ перемѣщеній, различныхъ для разныхъ электріоновъ. Чтобы гарантировать надлежащую величину радіальной силы надо выполнить условіе: $\frac{ie^2r}{a^3} = T$, гдѣ i обозначаетъ число электріоновъ, e количество электричества въ каждомъ изъ нихъ (и поэтому, см. § 8, ie есть количество стекляннаго электричества въ атомѣ), r обозна-

[1]) „Molecular Tactics of a Crystal“ § 4.

чаетъ радіусъ сферической поверхности, на которой расположены электріоны, a—радіусъ атома и T натяженіе нити въ системѣ, указанной въ § 17. Мы имѣемъ вообще $T = q\frac{e^2}{r^2}$, гдѣ q есть численная постоянная, зависящая отъ числа и конфигураціи электріоновъ, которую для каждаго случая надо опредѣлить геометрически. Отсюда мы находимъ слѣдующее выраженіе для отношенія радіуса меньшей сферы, на которой расположены электріоны, къ радіусу атома: $\frac{r}{a} = \sqrt[3]{\frac{q}{i}}$. Напр., возьмемъ случай восьми электріоновъ, расположенныхъ въ восьми вершинахъ куба. T есть равнодѣйствующая семи отталкиваній, и мы легко найдемъ, что: $q = \frac{3}{4}\left(\sqrt{3} + \sqrt{\frac{3}{2}} + \frac{1}{3}\right)$ и $\frac{r}{a} = 0{,}6756$. Поступая подобнымъ же образомъ въ случаяхъ двухъ, трехъ, четырехъ и шести электріоновъ мы получимъ слѣдующую таблицу значеній $\left(\frac{r}{a}\right)^3$ и $\frac{r}{a}$, къ которой добавленъ послѣдній столбецъ, указывающій значенія выраженія:

$$i^2\,\frac{3a^2-r^2}{2a^2} - \sum\frac{a}{D},$$

которое равно произведенію $\frac{a}{e^2}$ на работу, которую необходимо затратить для удаленія электріоновъ на безконечно большое разстояніе.

D обозначаетъ разстояніе между двумя какими-нибудь электріонами.

Число электріоновъ.	Конфигурація.	$\left(\frac{r}{a}\right)^3$	$\frac{r}{a}$	$\frac{a}{e^2} \times$ работа необходимая для перенесенія электріоновъ на безконечное большое разстояніе = w
1.	Въ центрѣ.	0	0	1,500
2.	Въ точкахъ, отстоящихъ отъ концовъ діаметра на $\frac{1}{4}$ послѣдняго.	$\frac{1}{8}$	0,5000	4,500
3.	Въ вершинахъ равносторонняго треугольника.	$\frac{1}{3\sqrt{3}}$	0,5774	9,000
4.	Въ вершинахъ квадрата.	$\frac{\sqrt{2}}{8}+\frac{1}{16}$	0,6208	14,750
4.	Въ вершинахъ равносторонняго тетраэдра.	$\frac{3}{16}\sqrt{\frac{3}{2}}$	0,6124	15,000
6.	Въ вершинахъ равносторонняго октаэдра.	$\frac{1+4\sqrt{2}}{24}$	0,6522	33,335
8.	Въ вершинахъ куба.	$\frac{3}{32}\left(\sqrt{3}+\sqrt{\frac{3}{2}}+\frac{1}{3}\right)$	0,6756	52,180

§ **21.** Въ опредѣленныхъ такимъ образомъ конфигураціяхъ, равновѣсіе, навѣрное, является устойчивымъ для случаевъ двухъ, трехъ и четырехъ электріоновъ въ вершинахъ тетраэдра. По моему мнѣнію можно заключить (безъ вычисленія), что оно устойчиво для случая шести и даже быть можетъ восьми электріоновъ. Для случая двадцати электріоновъ въ вершинахъ пятиугольнаго додекаэдра равновѣсіе является, вѣроятно,

неустойчивымъ. Также для случая двѣнадцати и десяти электріоновъ, равновѣсіе въ конфигураціяхъ, описанныхъ въ §§ 18 и 19, вѣроятно, можетъ быть неустойчивымъ, такъ какъ теперь мы замѣнили нерастяжимыя нити притяженіемъ къ центру атома.

§ 22. Въ дѣйствительности, когда число электріоновъ превышаетъ четыре, мы должны представлять себѣ, что они стремятся выйти изъ одной сферической поверхности. При очень большомъ числѣ ихъ они стремятся распредѣлиться однородно, по всему объему атома, какъ описано выше въ § 16. Такъ въ случаѣ конфигураціи равновѣсія пяти электріоновъ, указанной въ § 18, два электріона, лежащіе на одномъ діаметрѣ, отодвинутся силами взаимнаго отталкиванія немного далѣе отъ центра, чѣмъ три остальныхъ электріона, находящіеся въ экваторіальной плоскости. Въ этомъ случаѣ равновѣсіе явно устойчивое. Другая, очевидно, также устойчивая конфигурація пяти электріоновъ, внутри атома слѣдующая: одинъ электріонъ въ центрѣ и четыре на концентрической, сферической поверхности въ вершинахъ тетраэдра. Отъ каждой конфигураціи съ любымъ числомъ электріоновъ, расположенныхъ на одной сферической поверхности мы можемъ перейти къ другой конфигураціи, прибавляя одинъ лишній электріонъ въ центрѣ и соотвѣтственно увеличивая электрическую силу атома. Такъ отъ случаевъ, описанныхъ въ § 19, мы можемъ перейти къ конфигураціямъ равновѣсія для семи, девяти, одиннадцати, тринадцати и двадцати одного электріона. Во всѣхъ этихъ случаяхъ возникаютъ вопросы объ устойчивости или неустойчивости равновѣсія и о различныхъ количествахъ работы, необходимой для того, чтобы извлечь всѣ электріоны изъ атома и унести ихъ на безконечно большое разстояніе. Эти вопросы представляютъ весьма интересную тему для несложной математической ра-

боты и я сожалѣю, что не въ состояніи изслѣдовать ихъ въ настоящее время.

§ **23.** Разсмотримъ теперь электрическія свойства реальнаго тѣла газообразнаго, жидкаго или твердаго, состоящаго изъ комплекса атомовъ и ихъ электріоновъ. Для одноатомнаго газа или для любого достаточно разрѣженнаго комплекса простыхъ, неподвижныхъ или движущихся атомовъ, мы можемъ непосредственно изъ нашей гипотезы заключить слѣдующее: Фарадэевская *„способность проводить линіи электрической силы" или, какъ обыкновенно теперь говорятъ, электрическая индуктивная способность или электрическая индуктивная проницаемость должна быть больше единицы на величину, представляющую собою утроенное отношеніе суммы объемовъ атомовъ ко всему объему пространства, занятаго этимъ комплексомъ.* Это утвержденіе справедливо, независимо отъ того, моноэлектріонны или поліэлектріонны атомы, а также независимо отъ того, сколько электріоновъ или ихъ группъ приходятъ внутри атома въ колебательное или вращательное движеніе вслѣдствіе столкновеній, какъ это слѣдуетъ по кинетической теоріи газовъ. Чтобы доказать это, разсмотримъ въ однородномъ электростатическомъ полѣ, напряженія F, атомъ радіуса a и покоющуюся внутри него въ устойчивомъ равновѣсіи группу i электріоновъ.

Сила F вызоветъ смѣщенія электріоновъ относительно атома, равныя и параллельно направленныя, и поэтому не измѣняетъ формы комплекса и не вызываетъ вращенія электріоновъ. Если обозначить черезъ x величину такого смѣщенія, то уравненіе равновѣсія каждаго электріона будетъ слѣдующее: $\frac{iex}{a^3} = F$. Это уравненіе даетъ для электрическаго момента электростатической поляризаціи, которую производитъ въ атомѣ сила F, выраженіе $iex = a^3F$. Между прочимъ замѣтимъ, что a^3F равно также электрическому моменту

поляризаціи изолированнаго ненаэлектризованнаго металлическаго шара радіуса α, когда этотъ шаръ внесенъ въ электрическое поле напряженія F. На основаніи этого мы заключаемъ, что собраніе равномѣрно расположенныхъ неподвижныхъ металлическихъ шариковъ, раздвинутыхъ настолько, что можно пренебречь ихъ взаимнымъ вліяніемъ, обладаетъ той же самой электрической индуктивной способностью, какъ и равный и подобный этому собранію комплексъ нашихъ гипотетическихъ атомовъ, независимо отъ числа электріоновъ въ каждомъ изъ нихъ (это число необязательно одинаково у всѣхъ атомовъ). Итакъ, нашъ гипотетическій атомъ въ случаѣ разрѣженнаго комплекса совершенно подтверждаетъ гипотезу Фарадэя о „маленькихъ, шаровидныхъ, подобныхъ дробинкамъ, проводникахъ", предложенную имъ для объясненія электрической поляризаціи, которую онъ открылъ въ твердыхъ и жидкихъ изоляторахъ (Experimental Researches § 1679).

§ **24**. Обозначая черезъ N число атомовъ въ единицѣ объема, мы найдемъ выраженіе $NV\alpha^3F$ для электрическаго момента какого-нибудь достаточно разрѣженнаго комплекса одинаковой плотности, занимающаго объемъ V и помѣщеннаго въ однородномъ электрическомъ полѣ, напряженія F. Поэтому (по аналогіи съ электромагнитной номенклатурой) мы можемъ $N\alpha^3$ назвать электрической индуктивной воспріимчивостью [1]) этого комплекса, которая равна электрическому моменту единицы объема, индуцированному электрическимъ полемъ, сила котораго — единица. Обозначая воспріимчивость черезъ μ и электрическую индуктивную проницаемость черезъ ω, мы получимъ [Electrostatics and Magnetismus § 629 (14)] формулу:

$$\omega = 1 + 4\pi\mu = 1 + 3\left(N\frac{4\pi\alpha^3}{3}\right),$$

[1]) Объ этомъ я упоминаю въ моей „Electrostatics and Magnetism". §§ 628, 629.

которая доказываетъ предположеніе, высказанное въ началѣ § 23.

§ **25**. Если принять во вниманіе колебанія и вращенія группъ электріоновъ, то при доказательствѣ вышеприведеннаго необходимо лишь замѣтить, что средняя величина какой-либо слагающей смѣщенія центра инерціи группы относительно центра атома будетъ при дѣйствіи силы F тою-же самою, какъ если бы этотъ комплексъ находился въ покоѣ въ устойчивомъ равновѣсіи.

§ **26**. Жидкости состоятъ изъ тѣсно расположенныхъ подвижныхъ комплексовъ атомовъ или группъ атомовъ вмѣстѣ съ ихъ электріонами. Такіе комплексы образуютъ сложныя молекулы, напр., въ ожижженномъ аргонѣ или геліи (одноатомныхъ), въ азотѣ, кислородѣ и др. (двуатомныхъ) или въ чистой водѣ, въ водѣ съ растворенными въ ней солями или другими химическими веществами или въ различныхъ жидкостяхъ сложнаго химическаго состава. Въ настоящемъ изложеніи мы ограничимся при разсмотрѣніи жидкостей только слѣдующимъ замѣчаніемъ: предположенія, сдѣланныя нами относительно электрическихъ и иныхъ силъ, дѣйствующихъ между электріонами и атомами, повидимому, открываютъ путь для развитія вполнѣ опредѣленной обстоятельной динамики электролиза, химическаго сродства и теплоты химическихъ соединеній. Опредѣленія дѣйствительныхъ величинъ, относящихся къ данному вопросу (число молекулъ въ кубическомъ сантиметрѣ газа, масса, выраженная въ граммахъ, атома какого-нибудь вещества, діаметры атомовъ, абсолютная величина количества электричества въ электріонѣ, кажущаяся масса или инерція электріона),—повидимому, показываютъ, что интрамолекулярныхъ электрическихъ силъ болѣе чѣмъ достаточно для объясненія выдѣленія теплоты при химическихъ соединеніяхъ или для объясненія какого-либо механическаго дѣйствія, проявляю-

щагося при различныхъ химическихъ реакціяхъ. Мы могли бы попытаться объяснить всякое химическое явленіе, какъ электрическое, и всѣ видоизмѣненія химическаго вещества, какъ различія въ числѣ электріоновъ, необходимыхъ для нейтрализаціи атома или группы атомовъ этого вещества (см. выше § 6). Однако, такое представленіе не удовлетворитъ насъ, когда мы примемъ въ соображеніе весьма рѣзкое различіе въ свойствахъ и соотношеніяхъ между разными веществами, т. е. различными „химическими элементами". И допуская теперь, что всѣ электріоны подобны другъ другу, мы должны вернуться назадъ къ Отцу Босковичу и заимствовать у него объясненіе свойствъ различныхъ химическихъ элементовъ различіемъ законовъ силъ, дѣйствующихъ между различными атомами.

§ **27**. Разсмотримъ, наконецъ, твердое тѣло, т. е. комплексъ, въ которомъ атомы не обладаютъ относительнымъ движеніемъ, за исключеніемъ смѣщеній, очень малыхъ по сравненію съ наикратчайшими разстояніями между ихъ центрами [1]).

Первымъ дѣломъ мы замѣтимъ, что всякое твердое тѣло при абсолютномъ нулѣ (т. е. когда его атомы и электріоны находятся въ покоѣ) должно быть совершеннымъ изоляторомъ электричества при дѣйствіи электрической силы, достаточно слабой, чтобы быть въ состояніи вырвать электріоны изъ атомовъ, въ которыхъ эти электріоны находятся въ устойчивомъ равновѣсіи, когда не существуетъ никакой возмущающей причины. Предѣльное значеніе силы F, при которомъ тѣло перестаетъ

---

[1]) Едва ли мнѣ нужно говорить, что только для простоты не было упомянуто, какъ слѣдовало бы это сдѣлать, о замѣчательномъ открытіи Робертсъ-Аустеномъ диффузіи золота въ твердомъ свинцѣ. Эта диффузія была обнаружена послѣ того, какъ кусокъ золота пролежалъ на кускѣ свинца въ теченіе нѣсколькихъ недѣль, мѣсяцевъ или лѣтъ.

быть совершеннымъ изоляторомъ, я назову для сокращенія „разрывной" силой или разрывнымъ напряженіемъ. Очевидно, что величина разрывной силы тѣмъ меньше, чѣмъ больше число электріоновъ, находящихся внутри атома.

§ **28.** Электрическую индуктивную проницаемость твердаго тѣла при температурѣ абсолютнаго нуля можно вычислить на основаніи того, что содержится въ § 24; при этомъ нужно лишь принять въ разсчетъ силы, которыя дѣйствуютъ на электріоны нашего атома вслѣдствіе нахожденія по близости другихъ атомовъ, а именно притяженія сосѣднихъ атомовъ и отталкиванія электріоновъ этихъ атомовъ. Легко понять, не дѣлая вычисленій, что въ этомъ случаѣ электрическая индуктивная проницаемость превышаетъ единицу на величину гораздо большую, чѣмъ утроенная сумма объемовъ атомовъ, находящихся въ единицѣ объема, т.-е. въ этомъ случаѣ величина электрической индуктивной проницаемости будетъ больше величины, найденной въ § 24 для комплекса довольно удаленныхъ другъ отъ друга единичныхъ атомовъ, силы взаимодѣйствія которыхъ не оказываютъ возмущающаго вліянія на систему. Точно такъ же очевидно, что въ этомъ случаѣ не существуетъ простого отношенія между индуцированнымъ электрическимъ моментомъ и напряженіемъ электрическаго поля (F), того отношенія, которое точно соотвѣтствуетъ одному атому при всѣхъ значеніяхъ напряженія поля, не превышающихъ „разрывной" величины F. Величина электрическаго момента возрастаетъ скорѣе, чѣмъ по закону простой пропорціональности значенію F, и лишь для значеній F, малыхъ практически, она довольно точно слѣдуетъ этому закону.

§ **29.** Станемъ теперь повышать температуру твердаго тѣла, не доходя немного до точки его плавленія.

Это повышеніе температуры приведетъ электріоны въ безпорядочное колебательное движеніе, и нѣкоторые изъ электріоновъ будутъ случайно выброшены изъ атомовъ. Каждый вылетѣвшій изъ атома электріонъ или вернется сейчасъ же въ выбросившій его атомъ или войдетъ въ другой атомъ. Если тѣло находится въ электрическомъ полѣ, напряженія F, то значительная часть вылетѣвшихъ электріоновъ войдетъ въ другіе атомы, двигаясь въ томъ направленіи, куда ихъ гонитъ сила F; т.-е. тѣло, бывшее совершеннымъ изоляторомъ, при абсолютномъ нулѣ дѣлается теперь въ нѣкоторой степени проводникомъ электричества, и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ выше его температура. Это, безъ сомнѣнія, дастъ объясненіе тому факту, что флинтгласъ моего квадрантнаго электрометра, почти совершенный изоляторъ при комнатной температурѣ, дѣлается проводникомъ, будучи нагрѣтъ даже гораздо ниже точки его плавленія. По наблюденіямъ проф Грэя [1]) электропроводн. флинтгл. $0{,}98.10^{-24}$ при $60^0 C$; $4{,}9.10^{-24}$ при 100^0; 8300.10^{-24} при 200^0. Точно такъ же электропроводность рѣдкихъ земель сильно возрастаетъ съ повышеніемъ температуры выше $800^0 C$. Это свойство такъ удачно использовалъ проф. Нернстъ въ своей знаменитой лампочкѣ.

§ **30**. Если гипотезы, предложенныя въ настоящемъ моемъ докладѣ правильны, то электропроводность металловъ должна быть объяснена точно такимъ же образомъ, какъ электропроводность стекла, гуттаперчи, эбонита, стержня Нернста и др. Однако. здѣсь существуетъ одно различіе. Металлическій атомъ, должно быть, настолько переполненъ электріонами, что нѣкоторые изъ нихъ постоянно отъ него отдѣляются вслѣдствіе интермолекулярнаго и электріоннаго тепло-

---

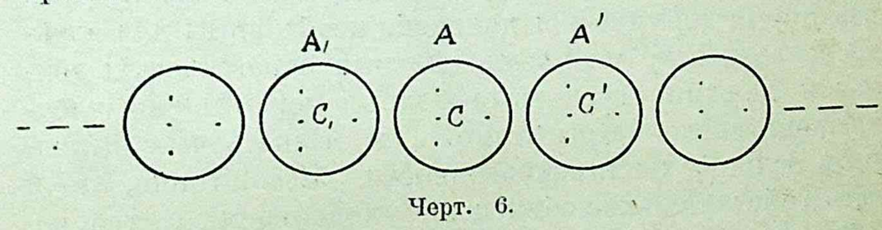
[1]) T. Gray. Proc. Roy. Soc. Jan. 12, 1882.

выхъ движеній. Это отдѣленіе происходитъ не только при комнатной и при болѣе высокихъ температурахъ, но даже и при температурахъ ниже 16° по абсолютной шкалѣ. Я утверждаю это на основаніи лекціи (Bakerian Lecture) Дьюара „Надиръ температуры", прочитанной въ лондонскомъ королевскомъ обществѣ 13 іюня, 1901 г. Изъ этой лекціи мы узнаемъ, что платина, золото, серебро, мѣдь и желѣзо обнаруживаютъ чрезвычайно большую электропроводность при температурѣ жидкаго водорода, кипящаго подъ давленіемъ 30 мм. Эта температура должна лежать въ промежуткѣ между 20°,5—абс. температурой кипѣнія водорода подъ давленіемъ 760 мм.—и 16°—абс. температурой плавленія твердаго водорода. Обѣ эти температуры были опредѣлены Дьюаромъ при помощи газоваго термометра съ геліемъ. Нетрудно себѣ представить, что электріоны въ каждомъ металлическомъ атомѣ настолько многочисленны, что хотя они при абсолютномь 0°, въ состояніи устойчиваго равновѣсія, остаются въ покоѣ внутри атомовъ, весьма тѣсно расположенныхъ въ твердомъ металлѣ, при 1° абсолютной температуры уже могутъ совершать внутри атома быстрыя безпорядочныя тепловыя движенія, а между 1° и 2° начинаютъ переноситься отъ одного атома къ другому. Такимъ образомъ, подобно стеклу и стержню Нернста, находящимся при температурѣ ниже 300° абс. шк., металлъ при температурѣ ниже 1° абс. шкалы, быть можетъ, является совершеннымъ изоляторомъ, онъ можетъ, какъ стекло при 333° абс. шк., при 2° абс. шк. обнаруживать замѣтную электропроводность; и какъ для стекла въ промежуткѣ отъ 333 до 473° абс. темп., такъ, возможно, и для металла между 2° и 2°,8 абс. шк. электропроводность увеличивается въ 8000 разъ. Подобно стержню Нернста при тепературѣ 1800°—2000° абс. шкалы, нашъ гипотетическій металлъ можетъ при 6° абс. шкалы обладать значительной электропроводно-

стью, близкой къ электропроводности свинца или мѣди при обыкновенной температурѣ. Электропроводность стержня Нернста возрастаетъ съ повышеніемъ температуры до тѣхъ поръ, пока стержень не расплавится или не испарится. Но совершенно понятно, что и у нашего гипотетическаго металла съ повышеніемъ температуры отъ 2^0 до 16^0 абсол. шк. электропроводность можетъ возрастать до максимума, а затѣмъ все время падать при дальнѣйшемъ возрастаніи температуры до комнатной и выше. Дѣйствительно, въ то время какъ нѣкоторыя термическія движенія необходимы для электропроводности, слишкомъ сильныя періодическія движенія должны стѣснять свободныя перемѣщенія электріоновъ среди массы атомовъ, и мѣшать имъ выполнить функцію электропроводности. Несомнѣнно, это и есть дѣйствительное объясненіе уменьшенія электропроводности металловъ съ возрастаніемъ ихъ температуры.

§ **31**. Весьма сожалѣю, что я не въ состояніи (за недостаткомъ времени) включить въ настоящій мой докладъ опредѣленія абсолютныхъ величинъ, я кончаю мое изложеніе примѣненіемъ нашей гипотезы къ выясненію пиро-электричества и пьезо-электричества въ кристаллахъ. Кристаллъ представляетъ собой однородный комплексъ тѣлъ. Обратно, однородный комплексъ тѣлъ не будетъ кристалломъ, если разстояніе между центрами ближайшихъ тѣлъ равняется сантиметру или болѣе; это будетъ кристаллъ только тогда, когда разстояніе между ближайшими тѣлами равно 10^{-8} сн. или менѣе. Пиро-электричество и пьезо-электричество представляютъ собой возникновеніе электрическихъ стеклянныхъ и смоляныхъ силъ, при измѣненіи температуры кристалла въ первомъ случаѣ и при сжатіи или растяженіи кристалла во второмъ случаѣ, какъ будто это было результатомъ стеклянной или смоляной электризаціи различныхъ частей поверхности кристалла.

§ **32.** Для того, чтобы составить себѣ понятіе о свойствахъ, которыя можетъ и долженъ имѣть кристаллъ, состоящій изъ нашихъ гипотетическихъ атомовъ съ ихъ электріонами, представимъ себѣ сначала только одинъ рядъ равныхъ тетраэлектріонныхъ атомовъ, расположенныхъ на одной прямой линіи. Каждый изъ нихъ содержитъ внутри четыре этектріона, нейтрализующіе его зарядъ. Черт. 6 показываетъ конфигурацію устойчиваго равновѣсія электріоновъ, но не въ правильномъ масштабѣ.



Черт. 6.

Группы изъ трехъ точекъ обозначаютъ три электріона, находящіеся въ трехъ вершинахъ равносторонняго треугольника; средняя точка въ каждомъ ряду лежитъ поперемѣнно ниже или выше плоскости чертежа. Въ плоскости чертежа находятся центры атомовъ и остальные электріоны каждой четверки. Положимъ, C_1, C, C' суть центры атомовъ A_1, A, A'. Нетрудное вычисленіе показываетъ, что четверка электріоновъ внутри атома A, разсматриваемыхъ на моментъ, какъ группа изъ четырехъ накрѣпко связанныхъ между собой матеріальныхъ точекъ, притягивается влѣво атомомъ A_1 съ меньшей силой, чѣмъ вправо атомомъ A'. (Дѣлая вычисленіе, вспомнимъ, что A_1 притягиваетъ всѣ электріоны атома A съ такой силой какъ если бы въ его центрѣ C_1 находилось количество e стекляннаго электричества; то же самое относится и къ A'). Но чѣмъ дальше лежатъ атомы по обѣ стороны A, тѣмъ соотвѣтственно меньшія разности получатся

между двумя притяженіями въ противуположныя стороны. Обозначимъ черезъ δ разницу между суммой притяженій направо и суммой притяженій налѣво. Геометрическій центръ группы электріоновъ смѣстится направо отъ C на разстояніе l, равное $\frac{\alpha^3\delta}{16e^2}$.

§ **33.** Представимъ себѣ теперь, что кристаллъ или твердое тѣло нѣкоторой формы построены изъ параллельныхъ рядовъ атомовъ, подобныхъ разсмотрѣннымъ въ § 32. Величина силы, вызывающей смѣщеніе четверки электріоновъ, нѣсколько измѣнится вслѣдствіе взаимодѣйствія между рядами атомовъ, но въ общемъ получится результатъ того же самаго характера, что и раньше. Мы видимъ, что за исключеніемъ тонкаго поверхностнаго слоя, быть можетъ, пяти—десяти атомовъ толщиною, вся внутренняя часть твердаго тѣла будетъ находиться въ состояніи однородной электрической поляризаціи. Электрическій моментъ этой поляризаціи для единицы объема равенъ $4eNl$, гдѣ N — число атомовъ въ единицѣ объема и l — смѣщеніе геометрическаго центра каждой группы изъ четырехъ электріоновъ относительно центра ея атома. Таково внутреннее молекулярное состояніе ди-полярнаго пиро-электрическаго кристалла, которое описано мною въ 1860 г.[1]) Оно даетъ вѣроятное объясненіе хорошо извѣстныхъ пиро-электрическихъ свойствъ кристалловъ, и находится въ полномъ согласіи съ открытой Кантономъ[2]) свободной электро-полярностью на поверхностяхъ

---

[1]) „Collected Mathematical and Physical Papers“, vol. *1* p. 315.

[2]) Видеманнъ („*Die Lehre von der Electricität*“, второе изд. 1894 *v. 2*, § 378) упоминаетъ объ одномъ опытѣ, не описывая его подробно, который далъ отрицательный результатъ, противорѣчащій открытію Кантона и разрушающій предложенную мной теорію. Интересные опыты можно было бы сдѣлать съ турмалиномъ, прижимая другъ къ другу и затѣмъ разъединяя поверхности излома его

излома турмалина. Мы можемъ представить себѣ кристаллъ, въ которомъ электріоны совершенно не сдвинуты изъ ихъ положеній, какъ въ § 32. Если такой кристаллъ опустить въ воду, а затѣмъ дать ему высохнуть, то во время этого процесса электріоны удалятся съ одной части поверхности его и распредѣлятся на остальной поверхности такъ, чтобы совершенно компенсировать дѣйствіе электрической силы внѣ кристалла. Если теперь измѣнить разстояніе между атомами, мѣняя температуру или производя механическое давленіе, то внутренняя электро-поляризація неизбѣжно должна измѣниться. Въ этомъ случаѣ компенсирующая поверхностная электризація, полученная при погруженіи въ воду и высушиваніи кристалла, не сможетъ совершенно уничтожить электростатическую силу въ воздухѣ, окружающемъ твердое тѣло. Если же твердое тѣло, находящееся при измѣненной температурѣ и подъ указаннымъ давленіемъ снова погрузить въ воду и затѣмъ высушить, то электрическая сила внѣ его будетъ снова равной нулю. Такъ объясняется пироэлектричество турмалина, открытое Эпинусомъ.

§ **34**. Но одни электрически двуполярные кристаллы съ ихъ единственной осью являются лишь небольшой и самой простой частью всего содержанія электро-кристаллографіи. Гайю (Haüy) нашелъ въ борацитѣ, кристаллѣ кубической системы, четыре двуполярныя оси, расположенныя по четыремъ діагоналямъ куба, или по перпендикулярамъ къ четыремъ гранямъ правиль-

---

кристалла, или прижимая другъ къ другу и натирая полированныя поверхности его, а затѣмъ раздѣляя ихъ. Было бы очень трудно, при разламываніи кристалла получить заслуживающіе довѣрія результаты, такъ какъ почти совершенно невозможно избѣжать неправильной электризаціи при обыкновенныхъ способахъ разламыванія. Способъ же электрическихъ измѣреній, примѣненный въ указанномъ Видеманномъ опытѣ, не описанъ имъ.

наго октаэдра. Этотъ кристаллъ, неравномѣрно нагрѣтый или охлажденный, обнаруживалъ противоположныя электризаціи на поверхности вблизи двухъ противолежащихъ вершинъ куба, или около центровъ двухъ противоположныхъ треугольныхъ граней октаэдра. Это открытіе даетъ намъ возможность заключить, что вообще электрическая эолотропія кристалловъ восьмиполярная съ четырьмя электрическими осями, а не только двуполярная, извѣстная прежде для турмалина. Напряженія электризацій на четырехъ осяхъ кристалла вообще различны, и сами оси въ кристаллахъ несимметричныхъ системъ оріентированы несимметрично относительно кристалла. Въ кристаллахъ оптически одноосныхъ одна изъ электро-полярныхъ осей должна вообще совпадать съ оптической осью, а три другія могутъ быть перпендикулярны ей. Напряженія электризацій для этихъ трехъ осей по величинѣ равны между собой; они могутъ равняться нулю для каждой оси.

Напряженіе можетъ быть нулемъ или имѣть нѣкоторое другое значеніе для такъ называемыхъ оптическихъ осей. Гайю нашелъ геометрическія различія въ кристаллическихъ площадкахъ на обоихъ концахъ турмалина; а также и на противоположныхъ углахъ кубовъ, какъ у лейцита, которые обладаютъ электрополярностью. На двухъ концахъ кристалла кварца (гексагональная призма съ двумя гексагональными пирамидами на ея основаніяхъ) не наблюдается такое геометрическое различіе, здѣсь имѣются различія структурнаго характера (видимыя или невидимыя) на противоположныхъ ребрахъ гексагональной призмы. Для оси призмы электрополярная сила равна нулю, но она не равна нулю для противоположныхъ реберъ, что доказано замѣчательнымъ открытіемъ братьевъ Кюри въ области пьезо-электричества. Тонкая плоская

пластинка была вырѣзана такъ, что двѣ поверхности ея и длина были перпендикулярны двумъ параллельнымъ гранямъ гексагональной призмы, а ширина ея параллельна ребрамъ призмы. Растянутая силами, приложенными на ея концахъ, эта пластинка обнаружила на двухъ ея поверхностяхъ противоположныя электризаціи. Это доказываетъ, что три электрополярныя оси дѣлятъ пополамъ углы въ 120° между послѣдовательными плоскими гранями призмы.

§ **35**. Въ настоящее время мы будемъ принимать въ разсчетъ только восьмиполярную электрическую эолотропію открытую Гайю для кристалловъ кубической системы. Четыре электріона находящіеся въ четырехъ вершинахъ тетраэдра, являются внутри кристалла представителями симметричныхъ восьмиполярныхъ свойствъ, которыя реализуются въ дѣйствительности въ кристаллѣ. Представимъ себѣ комплексъ атомовъ въ простой кубической системѣ; каждый атомъ содержитъ четыре электріона, расположенныхъ въ вершинахъ тетраэдра. Если всѣ электріоны оріентированы одинаково, такъ что четыре грани ихъ тетраэдровъ перпендикулярны четыремъ діагоналямъ каждаго элементарнаго куба, то мы и имѣемъ въ точности требуемую эолотропію. Однако равновѣсіе одинаково расположенныхъ электріоновъ вѣроятно будетъ неустойчивымъ, и мы должны обратиться къ менѣе простому комплексу, чтобы получить устойчивое равновѣсіе при одинаковой оріентировкѣ всѣхъ группъ по четыре электріона.

§ **36**. Подобный случай, я думаю, мы встрѣчаемъ въ дублетномъ равностороннемъ однородномъ комплексѣ точекъ, который описанъ въ § 69 моей статьи „Molecular Constitution of Matter“, перепечатанной изъ Протоколовъ Эдинбургскаго Королевскаго Общества (Trans. of Roy. Soc. of Edinb.) за 1889 г. въ 3-емъ томѣ

моихъ „Collected Mathematical and Physical Papers" (p. 426). Это для случая совокупности равныхъ и подобныхъ шаровъ можно представить себѣ слѣдующимъ образомъ. Возьмемъ сначала равносторонній однородный комплексъ точекъ A, и составимъ другой подобный же комплексъ точекъ B, помѣщая одну точку B въ центрѣ каждой подобно оріентированной группы изъ четырехъ точекъ A перваго комплекса. Мы найдемъ тогда, что каждая точка A находится въ центрѣ *противоположно* оріентированной группы изъ четырехъ точекъ B. Чтобы выяснить это, положимъ, что A_1, A_2, A_3, A_4 составляютъ равностороннюю группу четырехъ точекъ A, и вообразимъ себѣ, что A_2, A_3, A_4 помѣщены на горизонтальной стеклянной пластинкѣ [1]), а A_1 находится надъ этой пластинкой. Положимъ далѣе, что B_1 лежитъ въ центрѣ группы A_1, A_2, A_3, A_4, и точки B_1, B_2, B_3, B_4 составляютъ группу четырехъ точекъ B, оріентированную подобно группѣ A_1, A_2, A_3, A_4. Очевидно, B_2, B_3, B_4 лежатъ ниже стеклянной пластинки и группа B_1, B_2, B_3, B_4 не имѣетъ ни одной точки A въ своемъ центрѣ. Но вертикально противоположная группа B'_1, B'_2, B'_3, B'_4 содержитъ A_1 внутри себя. Эта группа оріентирована противоположно группѣ A_1, A_2, A_3, A_4. Такимъ образомъ мы видимъ, что въ то время, какъ половина всѣхъ группъ изъ точекъ A, оріентированныхъ противоположно A_1, A_2, A_3, A_4 не содержитъ точекъ B, половина группъ изъ точекъ B, оріентированныхъ противоположно A_1, A_2, A_3, A_4, содержатъ точку A внутри, другая же половина совсѣмъ не содержитъ точекъ A.

§ **37**. Теперь положимъ, что всѣ точки A и B § 36

---

[1]) Параллельныя стеклянныя пластинки съ маленькими бѣлыми, черными или цвѣтными бумажными кружками представляютъ весьма полезныя вспомогательныя средства для графическихъ построеній и наглядныхъ моделей въ молекулярной теоріи кристалловъ.

суть центры равныхъ и подобныхъ другъ другу сферическихъ атомовъ, изъ которыхъ каждый содержитъ группу изъ четырехъ электріоновъ. Электріоны будутъ находиться въ состояніи устойчиваго равновѣсія подъ вліяніемъ силъ взаимнаго отталкиванія между ними и силъ притяженія между электріонами и атомами, если они размѣщены по четыре въ равностороннія группы надлежащей величины, концентричныя съ атомами и всѣ оріентированы подобно одной изъ группъ A или B. Чтобъ убѣдиться въ правильности этого утвержденія, разсмотримъ сначала только пять атомовъ: A_1, A_2, A_3, A_4, B_1. Если всѣ электріоны внутри A_1, A_2, A_3, A_4, оріентированы подобно тому, какъ оріентированы четыре центра этихъ атомовъ, то четыре электріона внутри B_1 должны быть очевидно оріентированы подобно другимъ группамъ электріоновъ. Если же они оріентированы противоположно атомамъ, то устойчивая конфигурація электріоновъ внутри B_1, будетъ все таки подобна оріентировкѣ электріоновъ внутри A_1, A_2, A_3, A_4, хотя и противоположна расположенію центровъ этихъ атомовъ. Когда группы электріоновъ оріентированы всѣ одинаково тѣмъ или другимъ способомъ, а четыре электріона внутри B_1 передвинуты въ противоположную оріентировку, то это заставитъ и всѣ прочіе электріоны передвинуться и расположиться въ устойчивомъ равновѣсіи въ этой противоположной оріентировкѣ. Примѣняя это же самое разсужденіе къ каждому атому нашего комплекса и къ четыремъ ближайшимъ сосѣднимъ ему атомамъ, мы докажемъ положеніе выставленное нами въ началѣ этого отрывка. Чрезвычайно интересно отмѣтить, что, если въ очень большомъ однородномъ комплексѣ, подобномъ тому, которымъ мы сейчасъ занимались, оріентировка одной группы изъ четырехъ электріоновъ постоянно поддерживается противоположной, то всѣ другія группы послѣдуютъ

за ней и установятся въ устойчивомъ равновѣсіи въ оріентировкѣ, противоположной первоначальной.

§ 38. Этотъ двойной однородный комплексъ тетраэлектріонныхъ атомовъ повидимому представляетъ собой абсолютно наиболѣе простѣйшую [1]) молекулярную структуру, которая можетъ обладать свойствомъ электрической восьмиполярности Гайю. Чтобы доказать свойство электрической восьмиполярности такого комплекса, разсмотримъ октаэдръ, построенный соотвѣтственно ему. Грани этого октаэдра, взятыя въ надлежащемъ порядкѣ, будутъ содержать вблизи себя попеременно или вершины, или треугольныя грани электріонныхъ группъ, находящихся внутри атомовъ. Это и есть родъ электрической эолотропіи, дающей восьмиполярное свойство. Недостатокъ времени мѣшаетъ мнѣ теперь произвести подробное динамическое изслѣдованіе статическихъ или кинетическихъ результатовъ.

§ 39. [Добавленіе, сдѣланное 23 октября]. Послѣ того, какъ все предыдущее было написано, я нашелъ объясненіе тому затрудненію, которое помѣшало мнѣ восполнить пробѣлъ въ теоріи восьмиполярной эолотропіи въ однородномъ комплексѣ простыхъ атомовъ. Теперь я нашелъ (§ 40 ниже), что группы изъ четырехъ электріоновъ будутъ оставаться въ равновѣсіи въ

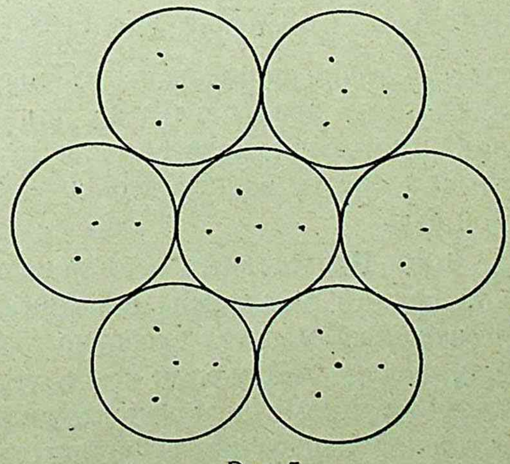


Рис. 7.

[1]) Не самая простая. См. ниже § 40.

равностороннемъ однородномъ комплексѣ подъ вліяніемъ взаимнаго отталкиванія между электріонами и притяженія между атомомъ и электріономъ; при этомъ онѣ образуютъ конфигурацію, указанную на черт. 7. Предполагается, что группы электріоновъ имѣютъ ребра, параллельныя шести линіямъ симметріи этого комплекса. Въ плоскости чертежа лежатъ центры семи атомовъ. Центральная точка въ каждомъ кружкѣ представляетъ простой электріонъ, который лежитъ на разстояніи r выше плоскости чертежа (согласно обозначеніямъ § 20; см. выше), и слѣдовательно, три другія точки находятся въ вершинахъ равносторонняго треугольника на разстояніи $\frac{1}{3}r$ по ту сторону чертежа. Въ этомъ случаѣ электрическій центръ тяжести группы электріоновъ совпадаетъ съ центромъ ихъ атома. Радіусъ круга, на окружности котораго лежатъ эти три электріона, равенъ $\frac{2\sqrt{2}}{3}$ или $0,94\ r$. Эта діаграмма точно нарисована въ масштабѣ, въ которомъ для r взято значеніе $0,612a$, данное въ таблицѣ § 20; при этомъ предполагается, что круги на діаграммѣ представляютъ электрическія сферы соприкасающихся атомовъ.

§ 40. Представимъ себѣ теперь, что въ каждой такой группѣ электріоны неподвижно связаны другъ съ другомъ и могутъ свободно вращаться лишь около оси, перпендикулярной къ плоскости чертежа. Сообщимъ группамъ элекріоновъ закручиваніе, повертывая медленно центральную группу электріоновъ и удерживая всѣ остальныя въ покоѣ. Вращеніе на 60^0 приведетъ, очевидно центральную группу въ положеніе неустойчиваго равновѣсія, а вращеніе еще на 60^0—въ положеніе устойчиваго равновѣсія, соотвѣтствующее первоначальному положенію этой группы. Это положе-

ніе, какъ мы теперь видимъ, является устойчивымъ въ томъ случаѣ, когда положеніе всѣхъ остальныхъ группъ фиксировано. Мы теперь разсуждаемъ только о взаимодѣйствіяхъ между центральной группой и шестью другими группами, помѣщенными вокругъ нея, на нашей діаграммѣ. Однако, можно легко доказать, что наши разсужденія остаются въ силѣ и тогда, когда мы имѣемъ взаимодѣйствіе между центральной группой и всѣми другими группами, расположенными въ пространствѣ вокругъ нея, включая и наши шесть группъ на діаграммѣ. Мы видимъ также, что, если какая-нибудь одна группа этого комплекса можетъ свободно вращаться около оси, перпендикулярной къ плоскости чертежа, въ то время какъ всѣ другія группы неподвижны, то эта группа находится въ устойчивомъ равновѣсіи, будучи оріентирована подобно группамъ, указаннымъ на діаграммѣ. Мы придемъ къ тому же самому заключенію относительно трехъ другихъ діаграммъ, нарисованныхъ въ трехъ иныхъ плоскостяхъ параллельныхъ гранямъ тетраэдровъ или соотвѣтственныхъ октаэдровъ комплекса. На основаніи сказаннаго мы заключаемъ слѣдующее: если уничтожить всѣ осевыя связи и оставить ихъ совершенно свободными, то каждая группа остается въ состояніи устойчиваго равновѣсія, будучи оріентирована подобно одному или другому ряду группъ нашего комплекса, состоящихъ изъ четырехъ электріоновъ въ вершинахъ правильнаго тетраэдра. Интересно замѣтить, что, если центральную группу повернуть на 60° и удержать въ этомъ положеніи, а всѣмъ остальнымъ группамъ предоставить свободно вращаться, то среди нихъ начнутъ распространяться отъ центра вращательныя колебанія. Эти группы придутъ въ устойчивое равновѣсіе, теряя на образованіе волнъ, распространяющихся въ эѳирѣ внѣ нашего комплекса, весь запасъ энергіи, который мы

имъ сообщили, при закручиваніи воздѣйствуя на центральную группу. При этомъ каждая изъ нихъ будетъ повернута въ ту или другую сторону на 60° отъ первоначальнаго положенія, и оріентирована подобно центральной группѣ, которую мы удерживаемъ въ данномъ положеніи.

§ **41**. Итакъ мы нашли, что въ равностороннемъ однородномъ комплексѣ атомовъ, содержащихъ внутри себя по четыре электріона, электріоны распредѣляются въ равностороннія группы по четыре и всѣ оріентируются по одному изъ данныхъ двухъ образцовъ. Составленный подобнымъ образомъ комплексъ атомовъ и электріоновъ является по существу восьми-полярнымъ. Изъ двухъ элементарныхъ структурныхъ тетраэдровъ, двухъ оріентировокъ, одинъ будетъ имѣть каждую свою группу изъ четырехъ электріоновъ, обращенную по направленію къ гранямъ тетраэдра; другой будетъ имѣть эти группы обращенными своими вершками отъ граней.

Въ элементарномъ же октаэдрѣ четыре грани лежатъ противъ вершинъ электріонныхъ группъ, а четыре другія грани обращены къ основаніямъ этихъ группъ. Комплексъ такихъ элементовъ и есть по существу динамически восьми-полярный. [1]). Это заключеніе вмѣстѣ съ подробнымъ объясненіемъ піезо-электрическихъ свойствъ могутъ быть выведены на основаніи (опытнаго)

---

[1]) Восьми-полярное пиро-электричество, которое, я думаю, открыто наблюденіями Гайю, должно возникать вслѣдствіе нѣкоторой эолотропіи, получающейся при нагрѣваніи. Прогрѣтые равномѣрно насквозь правильный кубъ или октаэдръ не могли бы обнаруживать противоположныхъ электризацій на четырехъ парахъ противолежащихъ вершинъ куба или противолежащихъ граней октаэдра. Тѣмъ не менѣе противорѣчащее этому наблюденіе Гайю электрической восьми-полярности, есть блестящее открытіе, настоящій и полный смыслъ котораго мы понимаемъ только теперь, благодаря экспериментальнымъ и математическимъ работамъ братьевъ Кюри, Фриделя и Фохта.

открытія братьевъ Кюри и математической теоріи Фохта.

§ **42**. Обратимъ вниманіе на діаграмму въ § 39, и представимъ, что она изображаетъ громадный однородный комплексъ, состоящій изъ большого числа параллельныхъ плоскихъ слоевъ атомовъ, расположенныхъ въ обѣ стороны отъ плоскости чертежа, на которомъ изображены семь атомовъ. Мы представляли себѣ, что всѣ группы по четыре электріона одинаково оріентированы, каждая изъ нихъ представляетъ равносторонній тетраэдръ, и геометрическій центръ ея находится въ центрѣ атома. Всѣ эти условія необходимы для устойчиваго равновѣсія.

§ **43**. Положимъ теперь, что комплексъ атомовъ равномѣрно растянутъ на нѣкоторое малое или большое разстояніе по обѣ стороны отъ плоскости чертежа, причемъ центры атомовъ совершенно не имѣютъ движеній, направленныхъ параллельно плоскостямъ слоевъ, въ которыхъ они расположены. Сначала предположимъ, что это растяженіе весьма значительно: а именно, оно достаточно велико, для того, чтобы сосѣднія слои не оказывали возмущающаго вліянія на тотъ слой, въ которомъ центры атомовъ и геометрическіе центры электріонныхъ группъ находятся въ плоскости чертежа. Теперь геометрическіе центры электріонныхъ группъ не останутся въ плоскости чертежа. Всѣ единичные электріоны, находящіеся выше плоскости чертежа надъ центрами круговъ, приблизятся къ плоскости чертежа; электріоны лежащіе въ вершинахъ равностороннихъ треугольниковъ за плоскостью чертежа, также приблизятся къ этой плоскости. При этомъ равносторонніе треугольники въ каждомъ атомѣ растянутся вслѣдствіе притяженія окружающими атомами. Величины встрѣчныхъ перемѣщеній единичнаго электріона съ одной стороны и трехъ электріоновъ съ другой не могутъ въ общемъ случаѣ относиться другъ къ другу какъ три къ единицѣ. На осно-

ванiи этого мы заключаемъ, что геометрическiе центры тяжести электрiонныхъ группъ смѣщены теперь въ направленiи, перпендикулярномъ къ плоскости чертежа вверхъ или внизъ. Величину и направленiе этого смѣщенiя я не могу дать безъ предварительнаго вычисленiя. Это вычисленiе не трудное, но по существу требуетъ много кропотливой работы, такъ какъ приходится опредѣлять три неизвѣстныхъ, длину стороны равносторонняго треугольника, который мы находимъ на дiаграммѣ, разстоянiе каждой вершины треугольника до электрiона, лежащаго надъ плоскостью чертежа, и смѣщенiе геометрическаго центра тяжести четырехъ электрiоновъ вверхъ или внизъ отъ плоскости чертежа. Въ каждое изъ этихъ трехъ уравненiй входятъ суммы безконечныхъ сходящихся рядовъ, которые изображаютъ суммы всѣхъ силъ, возникающихъ отъ дѣйствiя всѣхъ атомовъ, окружающихъ въ данной плоскости разсматриваемый атомъ. Методъ послѣдовательныхъ приближенiй, примѣненный по тому же самому общему плану, какъ въ примѣчанiи § 9, дастъ намъ удобный способъ вычисленiя.

§ **44**. Возвратимся къ § 42 и предположимъ, что наша дiаграмма представляетъ кристаллъ въ его естественномъ состоянiи, не измѣненномъ дѣйствiемъ силъ.

Этотъ кристаллъ состоитъ изъ большого числа комплексовъ атомовъ, центры которыхъ лежатъ въ плоскости чертежа и въ плоскостяхъ параллельныхъ ей, расположенныхъ по ту и другую сторону ея. Намъ уже извѣстно, что, если на электрiоны одной группы дѣйствуютъ силы всѣхъ окружающихъ ея въ плоскости чертежа атомовъ, и если эти силы не компенсированы другими силами, то геометрическiй центръ тяжести этой группы смѣстится въ ту или другую сторону отъ плоскости чертежа. Мы можемъ заключить, что силы, исходящiя отъ всѣхъ атомовъ, расположенныхъ по обѣ стороны отъ плоскости чертежа, даютъ эту компенсацiю,

необходимую для того, чтобы удержать центръ тяжести электріонной группы въ плоскости чертежа. Растянемъ теперь этотъ комплексъ до нѣкоторой степени одинаково по всѣмъ направленіямъ; группы (изъ четырехъ) электріоновъ, оставаясь равносторонними, сохранятъ свои центры тяжести въ плоскости чертежа или въ плоскостяхъ параллельныхъ ей. Наконецъ растянемъ еще этотъ комплексъ одинаково во всѣхъ направленіяхъ, параллельныхъ плоскости чертежа, не сдвигая его совершенно въ направленіи перпендикулярномъ этой плоскости. Это (послѣднее) растяженіе уменьшаетъ вліяніе всѣхъ атомовъ, центры которыхъ находятся въ плоскости чертежа и оно вызываетъ смѣщеніе центровъ тяжести ихъ электріонныхъ группъ въ нѣкоторомъ направленіи отъ этой плоскости. Слѣдовательно оно оставляетъ на долю всѣхъ атомовъ, лежащихъ внѣ плоскости чертежа, преобладающее вліяніе и вызываетъ конечное, поддающееся учету смѣщеніе центровъ тяжести всѣхъ электріонныхъ группъ. Направленіе этого смѣщенія прямо противоположно предшествующему (см. § 43).

§ **45**. Чтобы осуществить манипуляціи описанныя въ § 44, вырѣжемъ тонкую шестиугольную пластинку изъ средины кристалла, изъ слоя, лежащаго, въ случаѣ кубическаго кристалла, между двумя противоположными вершинами, а въ случаѣ октаэдра—между параллельными гранями его. Закрѣпимъ шесть реберъ этой пластинки въ шести тискахъ, и будемъ каждую пару тисковъ растягивать въ противоположныхъ направленіяхъ съ одинаковой силой. Все вещество пластинки становится электро-полярнымъ. Электрическій моментъ для единицы объема будетъ равенъ $4Nex$. Поддающимся измѣренію результатомъ являются однородные электростатическіе потенціалы [1]) въ чистомъ

[1]) См. мою книгу: „Electrostatics and Magnetism." § 512, cor. 3.

эѳирѣ, прилегающемъ къ двумъ сторонамъ этой пластинки. Разность этихъ потенціаловъ равна $4\pi . 4Next$, гдѣ t обозначаетъ толщину пластинки, x есть вычисленное смѣщеніе центра тяжести каждой электріонной группы относительно центровъ атомовъ, лежащихъ въ плоскостяхъ параллельныхъ гранямъ пластинки; e— электрическая масса электріона и N число атомовъ въ кубическомъ сантиметрѣ вещества. Такой кристаллъ кубической системы въ математической теоріи Фохта представляетъ собою аналогъ электрическому явленію, открытому въ кварцѣ братьями Кюри. Это явленіе было измѣрено ими при помощи тонкой металлической фольги, прикрѣпленной къ двумъ сторонамъ пластинки и соединенной съ двумя главными электродами электрометра.

Перевелъ П. П. Покотило.

Лордъ Кельвинъ.

Схема сочетанія атомовъ, имѣющаго свойства полонія и радія *).

---

1. Свойства, подлежащія объясненію—слѣдующія:

(1) Накопленіе большого, но конечнаго количества энергіи въ комбинаціи, обладающей весьма незначительною устойчивостью.

(2) Отдача этой энергіи при помощи выбрасыванія съ огромными скоростями частицъ, заряженныхъ стекляннымъ и смолянымъ электричествомъ.

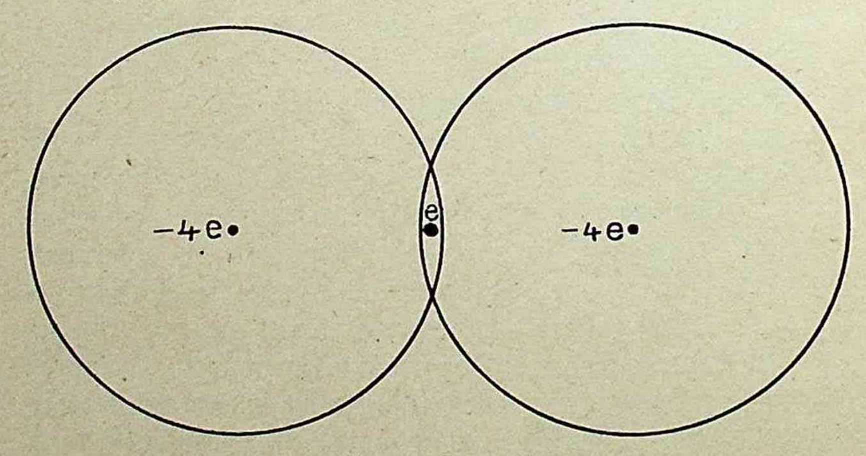
2. Въ заглавіи этого сообщенія подъ полоніемъ подразумѣвается вещество, которое въ большомъ количествѣ выбрасываетъ заряженныя стекляннымъ электричествомъ частицы, движущіяся затѣмъ съ огромною скоростью, но которое испускаетъ только мало или совсѣмъ не испускаетъ частицъ, заряженныхъ смолянымъ электричествомъ. Подъ радіемъ подразумѣвается вещество, которое въ чрезвычайномъ изобиліи выбрасываетъ, какъ частицы, заряженныя стекляннымъ, такъ и частицы, заряженныя смолянымъ электричествомъ. На основаніи кинетической теоріи газовъ представляется вѣроятнымъ, что всякій видъ матеріи обладаетъ

---

*) Статья эта помѣщена въ *Phil. Mag.* Vol. VIII. Oct. 1904 pp. 528—534 и въ VI томѣ собр. соч.: „*Mathem. and Physic Papers*". Vol. VI pp. 216—222.

нѣкоторою радіоактивностью, т.-е. испускаетъ заряженныя стекляннымъ электричествомъ частицы, и частицы со смоляною электризаціею. Слѣдовательно, лишь чрезвычайно большимъ обиліемъ и большими скоростями испускаемыхъ частицъ отличаются полоній и радій отъ обыкновенной матеріи.

3. Въ настоящемъ сообщеніи я буду пользоваться словомъ „электріонъ" для обозначенія атома смоляного электричества, согласно моему предложенію въ номерѣ журнала „*Nature*" отъ 27-го Мая 1897 г. (см. предыдущ. ст.); я буду также пользоваться тѣми предположеніями относительно атомовъ вѣсомой матеріи и электріоновъ, которыя впервые были предложены мною въ статьѣ подъ заглавіемъ: „Эпинусъ, атомизированный" *) въ юбилейномъ сборникѣ, преподнесенномъ профессору Боска (*Bosscha*) въ ноябрѣ 1901 г.



Рис, 1. Полоній.

4. Схема молекулярнаго строенія полонія представлена на рис. 1; ее вкратцѣ можно описать слѣдую-

---

*) См. предыдущ. статью этого сборника стр. 112. Въ ссылкахъ мы будемъ эту статью кратко обозначать такъ: „Эп."

щимъ образомъ: это—два полыхъ атома, удерживаемые вмѣстѣ—противъ ихъ взаимнаго отталкиванія—связью, состоящею изъ одного электріона. Планъ молекулярной структуры, способной испускать, какъ радій, β-лучи изображенъ на рис. 2 и можетъ быть вкратцѣ описанъ такъ: это—два электріона, сдерживаемые вмѣстѣ—противъ взаимнаго отталкиванія—связью, состоящею изъ одного полаго атома.

5. На рис. 1 количество стекляннаго электричества принадлежащее каждому изъ полыхъ атомовъ въ четыре раза больше количества смоляного электричества e, принадлежащаго одному электріону. Количество стекляннаго электричества, находящееся въ одномъ поломъ атомѣ рис. 2, равно $\frac{1}{4}e$.

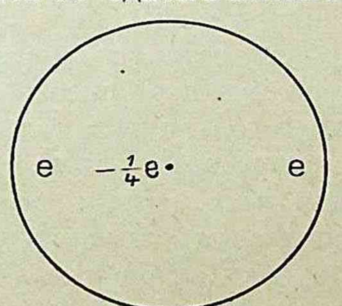


Рис. 2. Молекула, испускающая β-лучи радія.

6. Измѣните немного рис. 1 такъ, чтобы обѣ окружности касались другъ друга въ центрѣ электріона e. Электріонъ испытываетъ еще равныя притяженія слѣва и справа, и потому находится въ равновѣсіи. Каждый атомъ испытываетъ отталкиваніе со стороны сосѣдняго атома, которое равно $(4e \cdot 4e)/4r^2 = 4e^2/r^2$, если черезъ r обозначить радіусъ атома; притяженіе, испытываемое каждымъ атомомъ со стороны электріона, равно $4e \cdot e/r^2 = 4e^2/r^2$.

Такъ какъ эти силы равны, то атомъ—въ равновѣсіи. Но это равновѣсіе неустойчивое: чтобы доказать это, отодвинемъ одинъ атомъ на небольшое разстояніе отъ другого, оставивъ электріонъ въ другомъ, причемъ электріонъ свободенъ въ своихъ движеніяхъ, атомы же прикрѣплены къ своимъ положеніямъ. Электріонъ станетъ колебаться на небольшомъ протяженіи, всецѣло

внутри послѣдняго изъ упомянутыхъ атомовъ и испуская черезъ эѳиръ волны, постепенно приблизиться къ своему положенію равновѣсія внутри этого атома. Полый атомъ теперь будетъ испытывать меньшее отталкиваніе со стороны другого атома и притяженіе къ электріону, уменьшенное противъ прежняго на еще большую величину, чѣмъ отталкиваніе. Слѣдовательно, отталкиваніе будетъ преобладать, и если система предоставлена самой себѣ (атомы не удерживаются, какъ было предположено, въ своихъ положеніяхъ—прим. перев.), то атомы удалятся другъ отъ друга на безконечное разстояніе, причемъ электріонъ все время остается внутри одного изъ нихъ. Вся энергія, освобожденная благодаря преобладанію отталкиванія надъ притяженіемъ, будетъ затрачена на возбужденіе эѳирныхъ волнъ и на равномѣрное сквозь эѳиръ движеніе пустого атома и другого, внутри котораго заключается электріонъ, расположенный теперь въ его центрѣ. Для краткости и для того, чтобы, насколько возможно, оставаться въ согласіи съ языкомъ Дж. Дж. Томсона, Рӧтсерфорда и другихъ авторовъ работъ по динамикѣ радіоактивности, я назову то дѣйствіе, благодаря которому атомы разлетаются другъ отъ друга съ огромными скоростями—взрывомъ.

7. Чтобы найти работу, произведенную этимъ своеобразнымъ взрывомъ, станемъ сначала отдѣлять оба атома другъ отъ друга, оставляя электріонъ въ серединѣ между ними. Притяженіе каждаго атома электріономъ ($4e^2/r^2$) въ точности уравновѣсится отталкиваніемъ, производимымъ другимъ атомомъ ($16e^2/4r^2$), и поэтому не тратится никакой работы. Когда оба атома находятся на весьма большомъ разстояніи другъ отъ друга, приблизимъ электріонъ немного къ одному изъ нихъ и предоставимъ всю систему самой себѣ. Тогда электріонъ двинется къ ближайшему атому и наконецъ остано-

вится въ его центрѣ. Работа, произведенная при этомъ (Эп. таблица[1]) § 20), будетъ равна

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{4e^2}{r} = \frac{6e^2}{r}.$$

Это и есть энергія, освобождаемая при всемъ взрывѣ § 6, такъ какъ первоначальная и окончательная конфигурации атомовъ однѣ и тѣ же въ томъ и другомъ случаѣ. Мы можемъ сдѣлать r столь малымъ, какъ намъ угодно, и такимъ образомъ сдѣлать энергію взрыва столь большою, какъ мы желаемъ.

8. Подобныя же соображенія показываютъ, что если e и e помѣщены на окружности круга рис. 2, вмѣсто того, чтобы находиться немного внутри ея, то конфигурація неустойчива и подвержена взрыву, при которомъ одинъ изъ электріоновъ e выбрасывается на безконечное разстояніе, въ то время какъ другой располагается въ центрѣ атома. И точно такъ же, какъ въ § 7, мы найдемъ, что работа, освобожденная при этомъ взрывѣ, равна работѣ, необходимой для извлеченія электріона изъ центра атома и для удаленія его на безконечное разстояніе; а эта послѣдняя работа равна

$$\frac{3}{2} \frac{\frac{1}{4}e \cdot e}{r} = \frac{3}{8} \frac{e^2}{r}.$$

(См. Эп. табл.[2]) § 20).

9. На рис. 1 полное количество электричества равно $8e$ единицамъ стекляннаго электричества и e — смоляного. Слѣдовательно, чтобы составить нейтральную, ненаэлектризованную комбинацію атомовъ и электріоновъ, мы должны прибавить комбинацію, электрически экви-

---

[1]) Въ этой таблицѣ радіусъ атома обозначенъ не черезъ r, какъ здѣсь, а черезъ α, и количество стекляннаго электричества, принадлежащее атому, равно не $4e$, какъ здѣсь, а только e. Поэтому вмѣсто e^2 мы имѣемъ $4e^2$.

[2]) Въ этой таблицѣ количество стекляннаго электричества, принадлежащее атому, равно e, здѣсь же оно равно $\frac{1}{4}e$. Поэтому вмѣсто e^2 мы имѣемъ $\frac{1}{4}e^2$.

валентную 7 электріонамъ. Если мы просто помѣстимъ 7 электріоновъ въ сосѣдствѣ системы, изображенной на рис. 1, то они немедленно ворвутся внутрь атомовъ; увеличенная такимъ образомъ комбинація можетъ въ концѣ концовъ расположиться въ два атома съ четырьмя электріонами въ каждомъ; четверка электріоновъ въ каждомъ изъ атомовъ размѣстится въ одну изъ конфигурацій, соотвѣтствующихъ положеніямъ равновѣсія 4 электріоновъ въ атомѣ (Эп. § 17), и эти четырехэлектріонные атомы будутъ удаляться другъ отъ друга съ нѣкоторою конечною скоростью. Или система расположится въ одну изъ многихъ возможныхъ конфигурацій двухъ отчасти покрывающихъ другъ друга четырехэлектріонныхъ атомовъ, т. е. въ конфигурацію съ 8 электріонами въ положеніи равновѣсія внутри атома. Но въ томъ и другомъ случаѣ энергія взрыва, схему котораго мы желаемъ дать, будетъ потеряна. Мы должны поэтому найти другой планъ для замѣщенія недостающихъ $7e$ смоляного электричества. Всякая такая схема вызываетъ по существу необходимость прибавить 8 или больше электріоновъ. Мы могли бы попытаться создать атомъ, содержащій стеклянное электричество въ количествѣ равномъ одному электріону, и зарядить его 8-ю электріонами; но это почти навѣрное окажется невозможнымъ. Простѣйшая осуществимая схема это принять четырнадцать атомовъ, каждый изъ которыхъ содержалъ бы стеклянное электричество въ количествѣ равномъ $\frac{1}{2}e$, и помѣстить внутри ихъ по одному электріону. Это прибавитъ къ нашей заряженной стекляннымъ электричествомъ взрывчатой комбинаціи, изображенной на рис. 1, $14e$ единицъ смоляного электричества и $7e$—стекляннаго; такимъ образомъ въ итогѣ прибавится электрическій эквивалентъ въ $7e$ единицъ смоляного электричества, необходимый для построенія незаряженной взрывчатой комбинаціи.

10. Эти четырнадцать атомовъ расположимъ сначала въ двѣ группы по семь, какъ показано на рис. 3, и затѣмъ приложимъ ихъ симметрично на правой и на лѣвой сторонѣ рис. 1 въ плоскостяхъ перпендикуляр-

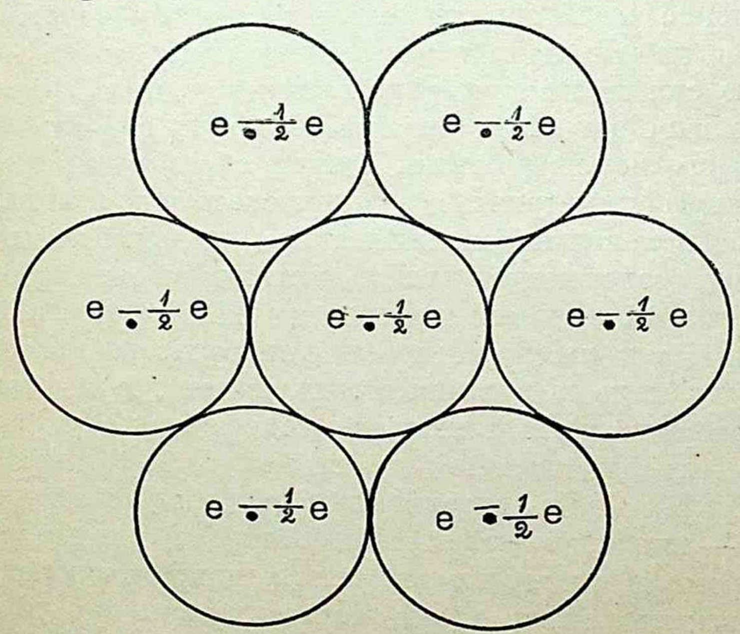


Рис. 3. Нейтрализующее предохранительное кольцо для молекулъ полонія.

ныхъ къ оси (т. е. параллельно поверхности чертежа). Сдѣлавъ эти атомы весьма большими по сравненію съ двумя атомами рис. 1, мы избѣгнемъ всякаго болѣе или менѣе значительнаго взаимодѣйствія ихъ съ силами, описанными въ §§ 6, 7 и 8; размѣщая атомы такихъ предохранительныхъ колецъ такъ, чтобы они немного покрывали другъ друга (чтобы окружности пересѣкались) и заставляя центральные атомы каждой изъ двухъ семиатомныхъ группъ немного покрыть атомы рис. 1, мы можемъ, согласно послѣднимъ четыремъ строчкамъ § 4 Эп., сообщить системѣ атомовъ какія

намъ угодно силы взаимодѣйствія и, слѣдовательно, придать всей группѣ изъ 16 атомовъ нужную устойчивость. Въ этой системѣ для 14 электріоновъ найдутся такія положенія устойчиваго равновѣсія, которыя совершенно не измѣнятъ положеніе электріоновъ, показанное на рис. 1, ибо они отталкиваютъ его съ одинаковою силою по противоположнымъ направленіямъ, и силы эти столь малы, что онѣ не могутъ сдѣлать равновѣсіе его неустойчивымъ. Такимъ образомъ мы имѣемъ красивую симметричную группу, способную взрываться, изъ четырнадцати большихъ атомовъ и двухъ малыхъ,— группу, содержащую всего пятнадцать электріоновъ въ положеніяхъ устойчиваго равновѣсія внутри системы.

11. Предѣлъ устойчивости центральнаго электріона и двухъ малыхъ покрывающихъ другъ друга атомовъ, въ которыхъ этотъ электріонъ содержится (см. рис. 1), столь ограниченъ, что уже весьма слабый толчекъ— если только онъ направленъ соотвѣтствующимъ образомъ — вызоветъ взрывъ, при которомъ эти два атома съ огромною скоростью разлетятся въ противоположныя стороны; при этомъ одинъ изъ этихъ атомовъ унесетъ съ собой центральный электріонъ. Каждый изъ нихъ, вѣроятно, пролетитъ черезъ сосѣдній атомъ предохранительнаго кольца, не унося съ собою его электріонъ. Такимъ образомъ оба вылетѣвшихъ атома окажутся заряженными стекляннымъ электричествомъ: одинъ—количествомъ стекляннаго электричества, равнымъ $4e$, другой, такъ какъ онъ несетъ съ собою электріонъ (количество смоляного электричества $= e$) — лишь $3e$. Это вполнѣ согласуется съ поведеніемъ, обнаруживаемымъ положеніемъ на опытѣ.

12. Возвращаясь къ рис. 1, измѣнимъ его такъ, чтобы обѣ окружности касались другъ друга въ точкѣ e, и предположимъ для простоты, что оба атома закрѣплены въ такомъ положеніи; равновѣсіе электріона e въ та-

комъ положеніи неустойчиво, и если его подвергнуть хотя бы малѣйшему возмущенію въ ту или другую сторону, онъ начнетъ колебаться; испуская эѳирныя волны, онъ наконецъ придетъ въ покой въ томъ или въ другомъ изъ обоихъ атомовъ въ точкѣ, лежащей на прямой, соединяющей ихъ центры, въ такомъ разстояніи, что притяженія, которымъ онъ подвергается, равны и противоположны. Разстояніе x этой точки отъ ближайшаго центра получится изъ уравненія:

$$\frac{x}{r} \cdot \frac{m}{r^2} = \frac{m}{(2r-x)^2},$$

гдѣ m обозначаетъ количество стекляннаго электричества, которымъ обладаетъ каждый атомъ. Это уравненіе 3-ей степени, одинъ корень котораго равенъ r; большій корень этого уравненія не имѣетъ значенія для нашей задачи; третій корень его $x = \frac{r(3-\sqrt{5})}{2} = 0{,}382r$ даетъ намъ искомое разстояніе положенія устойчиваго равновѣсія отъ центра того атома, въ которомъ электріонъ остается.

13. Обращаясь теперь къ β-лучамъ радія, разсмотримъ рис. 2. Мы имѣемъ $2e$ смоляного электричества и $\frac{1}{4}e$ стекляннаго: для нейтрализаціи не хватаетъ $\frac{7}{4}e$ стекляннаго электричества. Самый простой способъ добавленія этого недостающаго количества, способъ, обладающій также тѣмъ преимуществомъ, что онъ превращаетъ неустойчивое положеніе электріоновъ рис. 2 въ устойчивое, это взять атомъ весьма большого радіуса, снабженный зарядомъ стекляннаго электричества въ размѣрѣ $\frac{7}{4}e$, и помѣстить его концентрично съ малымъ атомомъ рис. 2. Это сложеніе даетъ намъ незаряженную комбинацію изъ двухъ атомовъ и двухъ электріоновъ, причемъ вся система находится въ устойчивомъ равновѣсіи, если электріоны расположены вну-

три малаго атома, на незначительномъ разстоянiи отъ границы его, какъ показано на рис. 2. Для краткости назовемъ черезъ A меньшiй атомъ, черезъ B большiй и черезъ R радiусъ большаго.

14. Чѣмъ больше отношенiе R/r, тѣмъ меньше разстоянiе двухъ электрiоновъ отъ внутренней границы A, тѣмъ меньше и тѣснѣе предѣлъ ихъ устойчивости, и тѣмъ, наконецъ, ближе къ истинѣ выраженiе $\frac{3e^2}{8r}$, полученное нами въ § 8 для энергiи взрыва. Дѣлая r достаточно малымъ, мы можемъ сдѣлать энергiю взрыва столь большою, какъ обнаруживаютъ наблюденiя.

15. Итакъ, въ §§ 10 и 13 мы описали двѣ незаряженныя молекулы, которыя находясь вмѣстѣ въ какомъ-либо веществѣ, сообщатъ ему α и β свойства радiя. Существуетъ много другихъ схемъ—и нѣкоторыя изъ нихъ, безъ сомнѣнiя, гораздо проще только что предложенной — для комбинацiй атомовъ, обладающихъ свойствами радiя. Дѣйствительно, довольно легко набросать планъ одного единственнаго атома, обладающаго стеклянной электризацiей опредѣленнымъ образомъ распредѣленной — такъ чтобы плотность этой электризацiи на равныхъ разстоянiяхъ отъ центра была одинаковой — и содержащей внутри себя достаточное для электризацiи количество электрiоновъ; притомъ всѣ эти заряды въ положенiи равновѣсiя должны быть разгруппированы такъ, что въ присутствiи другихъ атомовъ или возмущающихъ электрiоновъ, нашъ атомъ будетъ вести себя, какъ атомъ радiя. Въ сущности такой именно атомъ и данъ нами для объясненiя испусканiя β-лучей изъ радiя (см. выше § 13): дѣйствительно, сложенные вмѣстѣ, концентрически, атомы A и B можно считать скрѣпленными другъ съ другомъ и называть однимъ атомомъ.

Перевелъ М. Я. Якобсонъ.

Лордъ Кельвинъ.

Планъ атома, способнаго снабдить электріонъ огромной энергіей, необходимой для радіоактивности*.

---

1. Въ статьѣ, напечатанной въ журналѣ „Phil. Mag.“ въ октябрѣ 1904 г., я описалъ комбинаціи атомовъ и электріоновъ, обладающія нѣкоторыми опредѣленными радіоактивными свойствами; я считалъ въ то время необходимымъ придерживаться въ точности того описанія электрическихъ свойствъ атомовъ вѣсомой матеріи, которое было дано мною въ § 4 статьи: „Эпинусъ, атомизированный“ (См. 114 стр. этого сборника). Въ этомъ описаніи предполагается, что въ каждомъ атомѣ вѣсомой матеріи имѣется стеклянное электричество, однородно распредѣленное по всему его объему. Не связывая себя болѣе этимъ ограниченіемъ — однородною плотностью стекляннаго электричества, — я теперь предлагаю разсматривать атомъ вѣсомой матеріи, какъ систему, обладающую объемнымъ зарядомъ стекляннаго и смоляного электричества, распредѣленнымъ концентрическими слоями, причемъ всѣ точки, находящіяся на равныхъ разстояніяхъ отъ центра имѣютъ одинаковую плотность электризаціи; полное количество стекляннаго электричества превышаетъ полное количество смоляного. Я, кромѣ

---

*) *Phil Mag. Vol.* X Dec. 1905 pp. 695-698
Собраніе сочин. т. IV стр. 227—230.

того, предполагаю (въ чемъ, я увѣренъ, согласны со мною всѣ, кто въ настоящее время занимается радіоактивностью), что свободное смоляное электричество состоитъ изъ равныхъ другъ другу атомовъ. Я принимаю—и я увѣренъ, это признается всѣми,—что каждый изъ этихъ атомовъ смоляного электричества—которые я называю электріонами—имѣетъ помимо обыкновенно приписываемаго ему свойства электрическаго притяженія и отталкиванія, еще свойство дѣйствовать извѣстнымъ образомъ на эѳиръ и обладаетъ благодаря этому чѣмъ то вродѣ инерціи. Сущность этого дѣйствія электріона на эѳиръ заключается, какъ я полагаю, въ производимомъ имъ на эѳиръ притяженіи и, слѣдовательно, въ огромномъ сгущеніи эѳира вокругъ центра электріона. (*Baltimore Lectures*, Лекція XX, §§ 238, 239).

2. Мои настоящія предположенія основаны исключительно на однихъ только представленіяхъ Босковича: я только утверждаю, что между отдѣльнымъ электріономъ и отдѣльнымъ атомомъ вѣсомой матеріи, лишенномъ электріоновъ, дѣйствуетъ опредѣленная сила, направленная по прямой, соединяющей ихъ центры, и измѣняющаяся съ разстояніемъ; для разстояній бо̀льшихъ, чѣмъ радіусъ атома, эта сила представляетъ собою притяженіе, обратно пропорціональное квадрату разстоянія между электріономъ и центромъ атома. Эта гипотеза оставляетъ намъ абсолютную свободу въ выборѣ закона,—соотвѣтствующаго нашимъ цѣлямъ—для силы, дѣйствующей между электріономъ и атомомъ, когда первый находится внутри второго. Чтобы сообщить атому способность накопить огромную электрическую энергію, помѣщая одинъ лишь электріонъ въ его центрѣ, или на весьма небольшомъ разстояніи отъ его центра, я принимаю, какъ указано въ діаграммѣ (рис. 1), что сила, дѣйствующая на электріонъ, когда онъ от-

стоитъ отъ центра на разстояніе меньшее, чѣмъ *CM*, направлена *къ центру*; и что на всѣхъ разстояніяхъ между *CM* и *CN* (послѣднее немного меньше радіуса атома) имѣетъ мѣсто отталкиваніе отъ центра, возрастающее

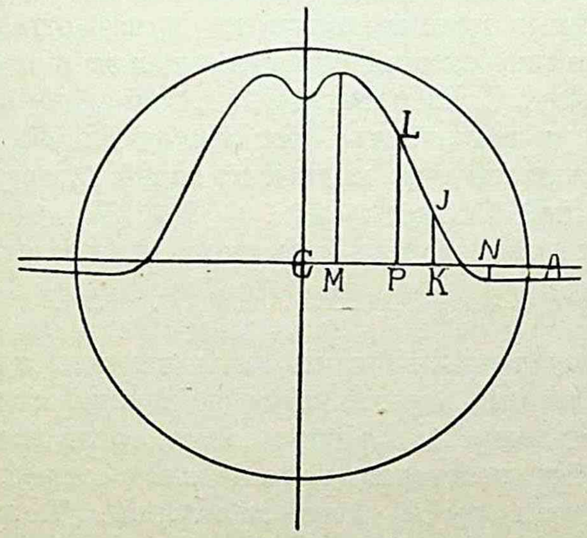


Рис. 1. Кривая работы.
На правой сторонѣ діаграммы подъемъ кривой (если идти слѣва направо) означаетъ притяженіе, паденіе ея—отталкиваніе.

до максимума (при которомъ величина отталкиванія огромна) на нѣкоторомъ разстояніи *CK* между *CM* и *CN*, и достигающее нуля на разстояніи *CN*. Между *CN* и *CA*—радіусомъ атома—сила дѣлается опять притягивательной и остается такой, измѣняясь обратно пропорціонально квадрату разстоянія, для всѣхъ разстояній между электріономъ и центромъ атома бо́льшихъ *CA*. Кривую, изображенную на діаграммѣ, для краткости назовемъ *кривою работы*: ордината ея *PL* показываетъ работу, положительную или отрицательную, необходимую для того, чтобы перемѣстить электріонъ изъ безконечности въ данную точку *P*, лежащую внутри или

внѣ атома; эту работу я обозначу черезъ w. Тогда обозначивъ CP черезъ r, мы имѣемъ

$$F = \frac{dw}{dr} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (1),$$

гдѣ F обозначаетъ силу (положительную въ случаѣ притяженія и отрицательную въ случаѣ отталкиванія), испытываемую электріономъ въ положеніи P со стороны атома. Слѣдовательно, эта сила на діаграммѣ изобразится тангенсомъ угла между линіей центровъ CA и касательною къ кривой въ точкѣ L, соотвѣтствующей данной абсциссѣ CP.

3. Для всѣхъ точекъ внѣ атома мы имѣемъ:

$$F = \frac{\alpha e}{r^2} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (2),$$

гдѣ α обозначаетъ избытокъ стекляннаго электричества надъ смолянымъ, остающимся постоянно связаннымъ съ атомомъ; черезъ e я обозначилъ, согласно общепринятому обычаю авторовъ по радіоактивности, количество электричества въ каждомъ электріонѣ. Такимъ образомъ уравненіе кривой внѣ атома имѣетъ видъ:

$$w = -\frac{\alpha e}{r} \quad \ldots \ldots \ldots \ldots \quad (3).$$

Изъ этого уравненія видно, что наша кривая внѣ атома представляетъ собою участки двухъ прямоугольнихъ гиперболъ.

То, что въ точкѣ M ордината кривой достигаетъ максимума, а въ точкахъ C и N минимума, показываетъ, что точка M представляетъ собою положеніе неустойчиваго равновѣсія одного отдѣльнаго электріона внутри атома. Точка кривой I, являясь точкой перегиба опускающейся части правой вѣтви кривой, показываетъ, что въ положеніи K электріонъ испытываетъ наибольшую отталкивательную силу. Проведя воображаемую сферическую поверхность черезъ какую-либо точку P внутри атома, мы видимъ, что сила дѣйствующая на

электріонъ, когда онь находится на этой поверхности выражается черезъ

$$F = \frac{\alpha e}{r^2} \cdots\cdots\cdots\cdots \quad (4),$$

гдѣ Q означаетъ избытокъ стекляннаго электричества надъ смолянымъ въ части атома, ограниченной разсматриваемою сферическою поверхностью; равнодѣйствующая силы отъ всего электричества, заключающаго въ слоѣ между концентрическими сферами съ радіусами CA и CP равно нулю для всякой точки, находящейся внутри полости, ограниченнаго меньшею сферою.

4. Имѣя ввиду объяснить различныя радіоактивныя свойства различныхъ атомовъ, а также различныя радіоактивныя свойства, проявляемыя однимъ и тѣмъ же атомомъ въ разное время, мы можемъ видоизмѣнить кривую работы какъ намъ угодно. Такъ, напримѣръ, мы можемъ начертить эту кривую съ четырьмя, шестью или вообще какимъ угодно четнымъ числомъ минимумовъ, вмѣсто двухъ минимумовъ C и N рис. 1. Тогда въ каждомъ изъ этихъ случаевъ, очевидно, будетъ нечетное число максимумовъ, такъ какъ число максимумовъ (какъ видно изъ характера кривой—прим. пер.) всегда на единицу менше числа минимумовъ. Такимъ образомъ мы можемъ получить любое четное число положеній устойчиваго равновѣсія внутри атома. Работа въ минимумѣ, соотвѣтствующемъ ближайшему къ границѣ атома положенію устойчиваго равновѣсія по существу вопроса отрицательна и нѣсколько меньше по величинѣ (нѣсколько болѣе отрицательна), чѣмъ отрицательная работа, необходимая для того, чтобы перенести электріонъ изъ безконечности на поверхность атома. Всѣ другіе минимумы могутъ быть столь большими положительными величинами, какъ намъ угодно. Величина ординаты въ какомъ-либо изъ этихъ минимумовъ выражаетъ энергію, освобождающуюся при „взрывѣ“, когда элек-

тріонъ, находясь въ данномъ положеніи равновѣсія, подвергается какому-нибудь толчку или другого рода воздѣйствію, благодаря которому онъ настолько удаляется въ ту или другую сторону отъ этого положенія, что занимаетъ неустойчивое положеніе. Посмотримъ, напримѣръ, на нашу діаграмму. Электріонъ, помѣщенный въ *C*, обладаетъ устойчивостью, но лишь въ очень тѣсныхъ предѣлахъ. Если онъ благодаря какому-либо возмущенію, былъ удаленъ изъ центра дальше, чѣмъ до точки *M*; то электрическая сила, дѣйствующая на него со стороны атома, выброситъ его изъ атома съ огромною скоростью, которая только очень незначительно будетъ уменьшена притяженіемъ всего атома, испытываемымъ электріономъ послѣ выхода за его предѣлы. Если электріонъ уходитъ далеко за предѣлы атомы, то онъ летитъ съ такою скоростью, что кинетическая энергія его немногимъ больше, чѣмъ значеніе *w*, въ томъ положеніи неустойчиваго равновѣсія, изъ котораго онъ былъ выброшенъ; при этомъ конечно, предполагается что мы можемъ пренебречь энергіею, которую электріонъ теряетъ, находясь еще внутри атома при сообщеніи движенія эѳиру въ атомѣ и внѣ его.

Перевелъ М. Я. Якобсонъ.

Лордъ Кельвинъ.

Попытка объяснить радіоактивныя свойства радія.[1])

1. Однимъ изъ важнѣйшихъ проявленій радіоактивности является испусканіе электріоновъ незаряженнымъ твердымъ или жидкимъ веществомъ. При равномѣрно безпорядочномъ движеніи частицъ ка́кого-либо твердаго или жидкаго тѣла, находящихся въ подвижномъ равновѣсіи,[2]) каждый отдѣльный электріонъ въ нѣкоторый моментъ случайно можетъ получить такую скорость, что онъ будетъ выброшенъ изъ тѣла. Слѣдовательно, всѣ твердыя и жидкія тѣла обладаютъ нѣкоторою радіоактивностью.

2. Атому радія—поскольку мы въ настоящее время можемъ судить— слѣдуетъ приписать особое свойство—способность накоплять внутри себя гораздо большую энергію электріона, чѣмъ атомы всѣхъ другихъ извѣстныхъ намъ до сихъ поръ веществъ. Въ краткой

---

[1]) *Phil. Mag. Vol. XIII March. 1907, pp 313—316.* Въ настоящей статьѣ содержится чрезвычайно интересныя соображенія, но они не соотвѣтствуютъ тому, что даютъ наблюденія. Статья эта имѣетъ историческій интересъ. *(Прим. И. Б.)*

[2]) Напомнимъ, что согласно кинетической теоріи вещества, частицы тѣла, находящагося въ тепловомъ равновѣсіи (при постоянной температурѣ) безпорядочно движутся по различнымъ направленіямъ и съ различными скоростями. Эти скорости распредѣлены по извѣ-

статьѣ, опубликованной въ журналѣ *Phil Mag.* въ декабрѣ 1905 (предыд. статья этого сборника), я объяснилъ строеніе атома, исходя только изъ предположенія Босковича о силѣ взаимодѣйствія между электріономъ и атомомъ, внутри котораго онъ находится; согласно этому объясненію, для электріона внутри атома существуетъ— кромѣ прочихъ—одно положеніе устойчиваго равновѣсія вблизи границы атома, въ которомъ онъ обладаетъ очень малой потенціальной энергіей; и одно положеніе устойчиваго равновѣсія въ центрѣ атома, въ которомъ онъ обладаетъ весьма большой потенціальной энергіею. Для краткости я буду называть атомъ „заряженнымъ“ когда онъ имѣетъ электріонъ въ своемъ центрѣ или гдѣ-либо вблизи его въ предѣлахъ устойчивости, атомъ, не имѣющій въ предѣлахъ устойчивости центральнаго положенія электріонъ, я буду называть „незаряженнымъ“.

3. Мы можемъ предположить, что въ твердомъ кристаллѣ бромистаго или хлористаго радія бромъ или хлоръ, а также гелій, который полученъ Рамзаемъ и Содди (Ramsay and Soddy) изъ такихъ кристалловъ, не участвуютъ непосредственно въ той удивительной радіоактивности, которую проявляютъ эти кристаллы. Для краткости я здѣсь прійму, что радіоактивность зависитъ главнымъ образомъ отъ атомовъ радія, имѣющихся въ данномъ соединеніи. Предположимъ теперь, что намъ данъ кристаллъ, въ которомъ всѣ атомы радія незаря-

---

стному закону, точное выраженіе котораго было дано Максвелломъ; громадное большинство частицъ движется со скоростями, близкими къ нѣкоторой средней величинѣ, но, вообще говоря, будутъ встрѣчаться всѣ скорости отъ самыхъ малыхъ до самыхъ большихъ: только, чѣмъ больше отличается данная скорость отъ средней величины, тѣмъ рѣже она будетъ встрѣчаться. Въ современной теоріи электричества принимается, что часть электріоновъ въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ (такъ называемые свободные электріоны) участвуетъ въ тепловомъ движеніи. (Прим. перев.)

жены. Черезъ весьма короткій промежутокъ времени, можетъ быть, черезъ милліонную долю секунды, или даже черезъ милліонную милліонной части секунды—вслѣдствіе процесса приближенія всей системы движущихся частицъ къ кинетическому равновѣсію—нѣкоторые изъ атомовъ уже окажутся заряженными. Съ теченіемъ времени все бóльшая и бóльшая часть атомовъ радія сдѣлаются заряженными, пока, наконецъ, можетъ быть, по истеченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ, не наступитъ состояніе равновѣсія, при которомъ будетъ происходить въ единицу времени постоянное число заряженій и разрядовъ. Энергія, затрачиваемая на работу заряженія атомовъ радія, берется изъ тепловой энергіи кристалла. Поэтому кристаллъ долженъ былъ бы обнаружить охлажденіе; но теплота, получаемая имъ вслѣдствіе теплопроводности и *лучеиспусканія* окружающихъ тѣлъ, компенсируетъ охлажденіе, вызываемое заряженіями, и, такимъ образомъ достигается постоянное равновѣсіе температуры.

4. Согласно законамъ кинетическаго равновѣсія, въ каждую секунду нѣкоторая опредѣленная доля—вѣроятно, весьма малая—всѣхъ заряженныхъ атомовъ переходитъ въ незаряженное состояніе: изъ этихъ атомовъ выбрасываются электріоны съ огромною скоростью, безъ сомнѣнія, достаточною для того, чтобы онъ могъ пролетѣть сквозь вещество кристалла во внешнее пространство. Для насъ будетъ удобно называть такой процессъ разрядомъ, или взрывомъ, точно такъ же какъ называютъ разрядомъ или взрывомъ непосредственный результатъ воспламененія пороха въ большой заряженной пушкѣ. Освобождающимъ дѣйствіемъ при нашемъ предполагаемомъ атомномъ взрывѣ является сотрясеніе, благодаря которому электріонъ удаляется настолько далеко отъ центральнаго положенія равновѣсія, что онъ выходитъ за предѣлы устойчивости и, подвергшись

отталкиванію, выгоняется изъ атома. Это отталкиваніе возрастаетъ до весьма большого максимума, а затѣмъ уменьшается до нуля и далѣе непрерывно приближается къ тому относительно слабому притяженію, которое, испытываетъ, находясь внѣ атома, заряженный смолянымъ электричествомъ электріонъ со стороны заряженнаго стекляннымъ электричествомъ атома.

5. Тѣ разряды атомовъ, при которыхъ электріонъ испускается внутрь кристалла, вслѣдствіе противодѣйствія, встрѣчаемаго электріономъ, заставятъ разряженный атомъ двинуться по направленію къ внѣшней границѣ кристалла[1]); и если онъ достаточно близокъ къ поверхности кристалла, онъ вылетитъ въ окружающее пространство со сравнительно небольшою скоростью и энергіею. Эти „разряженные" атомы, обладающіе зарядомъ стекляннаго электричества, будучи выброшены за предѣлы кристалла силою взрыва, образуютъ собою „α — лучи". Они разовьютъ сравнительно мало тепла, когда ихъ движеніе останавливается вслѣдствіе сопротивленія среды внѣ кристалла. Количество тепла, выдѣляемое выброшенными изъ радіоактивнаго вещества электріонами, гораздо больше, такъ какъ они обладаютъ гораздо большею кинетическою энергіею.

6. Какъ мнѣ представляется, выдѣленіе тепла въ количествѣ ста малыхъ калорій въ часъ на каждый граммъ радія происходитъ главнымъ образомъ за счетъ энергіи электріоновъ („β — частицъ"); однако, и „α — частицы" должны участвовать въ этомъ.[2])

7. Такой процессъ можетъ продолжаться неопредѣленно долго безъ нарушенія закона сохраненія энергіи и безъ *чудовищно большого* или *безконечнаго* запаса потенціальной энергіи въ заряженномъ атомѣ радія: выбро-

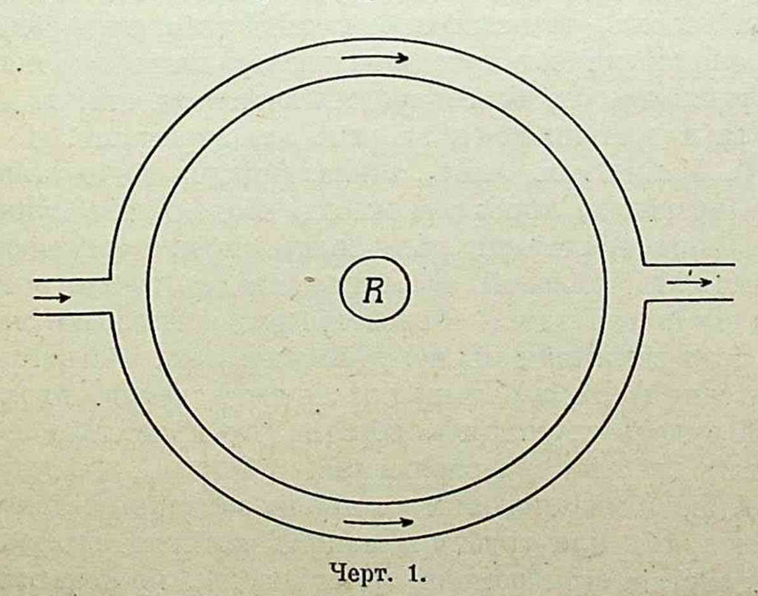
---

[1]) Аналогично тому, какъ отскакиваетъ назадъ пушка, когда изъ нея вылетаетъ ядро. (*Прим. пер.*).

[2]) Наблюденія показали совершенно обратное. (*Прим. И. Б.)*

шенные изъ кристалла радіеваго соединенія съ огромными скоростями электріоны производятъ мѣстное нагрѣваніе въ веществѣ, окружающемъ эти кристаллы; но въ то же время кристаллъ получаетъ тепло отъ окружающихъ тѣлъ, вслѣдствіе ихъ теплопроводности и *лучеиспусканія;* этимъ и замѣщается энергія, которая тратится на непрерывное заряженіе незаряженныхъ атомовъ радія.

8. Вернемся къ температурному равновѣсію, достигнутому въ концѣ § 3. Предположимъ, что вещество,



Черт. 1.

окружающее радій, состоитъ изъ свинца и имѣетъ форму шара съ радіусомъ въ 50 см.; этотъ шаръ окруженъ сферическою оболочкою, устроенною такъ, что вокругъ шара постоянно можетъ протекать (по меридіаннымъ полукругамъ) потокъ воды. Каждая „α — частица“ и каждая „β — частица“, выброшенная изъ радія въ свинецъ, выдѣлитъ въ немъ тепло въ количествѣ эквивалентномъ ея кинетической энергіи. Извѣстная часть

этого тепла вернется обратно въ радій и *вмѣстѣ съ тепломъ, полученнымъ имъ благодаря лучеиспусканію,* пополнитъ энергію, затрачиваемую на непрерывное заряженіе. Остальная часть переходитъ вслѣдствіе теплопроводности къ внѣшней поверхности шара и уносится водою. Описанная установка представляетъ собою калориметръ для измѣренія непрерывнаго, постояннаго термическаго дѣйствія радія.

9. Если бы вся внѣшняя поверхность свинца была покрыта какимъ-либо абсолютно непроницаемымъ для тепла лакомъ, то вся теплота, выдѣляемая въ свинцѣ выброшенными изъ кристалла электріонами и атомами, возвращалась бы, благодаря теплопроводности, въ кристаллъ и пополняла бы энергію для заряженій.

10. У многихъ лицъ, занимающихся радіоактивностью, возникла, вѣроятно, мысль, что, сдѣлавъ свинцовый шаръ достаточно большимъ, можно совершенно уничтожить тепловой эффектъ. Это съ точки зрѣнія предложеннаго здѣсь объясненія радіоактивныхъ явленій, безъ сомнѣнія, вѣрно: дѣйствительно, чѣмъ толще слой свинца, тѣмъ большая часть выдѣляемаго въ немъ тепла будетъ переходить обратно въ кристаллъ и пополнять энергію для заряженій.

11. Если мы заключимъ радій въ запаянный стеклянный шарикъ или трубку и станемъ измѣрять его тепловое дѣйствіе при помощи потока воды, протекающаго черезъ стеклянную трубку, окружающую сосудикъ съ радіемъ, но обладающую сравнительно узкимъ каналомъ, то окажется, что большая часть тепла, выдѣляемаго „β — частицами", не передастся водѣ нашего калориметра, а уйдетъ на нагрѣваніе внѣшняго воздуха, окружающаго его. Если бы въ опытѣ § 8 шаръ имѣлъ радіусъ не въ 50 см., а лишь въ полсантиметра, то значительная часть „β — частицъ" проходила бы, не отдавая своей энергіи свинцу или водѣ; „α — частицы",

выпускаемыя радіемъ, напротивъ, практически всѣ будутъ останавливаться свинцомъ и отдавать ему свою энергію.

12. Размѣры, указанные въ § 8, выбраны исключительно для наглядности, и мы не предполагаемъ, что они годны для какого-либо дѣйствительнаго опыта.

13. Слово „лучеиспусканіе", напечатанное выше въ §§ 3, 7 и 8 курсивомъ, указываетъ намъ, какъ мнѣ представляется, единственную возможность избѣжать заключенія, что радій содержитъ почти безконечный запасъ энергіи: въ самомъ дѣлѣ, вѣдь радій можетъ отдавать энергію въ теченіе сотенъ лѣтъ, безъ всякой видимой компенсаціи со стороны внѣшняго источника.

Но мнѣ не кажется совершенно невозможнымъ допустить, что радій представляетъ собою абсолютно черное тѣло по отношенію къ эѳирнымъ волнамъ, настолько короткимъ, что свинецъ и другія твердыя и жидкія вещества для нихъ прозрачны.

Перевелъ М. Я. Якобсонъ.

Сэръ Дж. Дж. Томсонъ.

Распредѣленіе корпёслей въ атомѣ [1]).

Наблюденія показываютъ, что свойства корпёслей всегда одни и тѣ же, какова бы ни была природа вещества, изъ котораго эти корпёсли происходятъ; это обстоятельство, въ связи съ тѣмъ фактомъ, что масса корпёслей во много разъ меньше массы какого-либо изъ извѣстныхъ намъ атомовъ, наводитъ на мысль, что корпёсли входятъ въ составъ всѣхъ атомовъ, или, короче говоря, что онѣ являются существенною частью строенія атомовъ различныхъ элементовъ. Сдѣлавъ такое предположеніе, важно разсмотрѣть, какимъ образомъ могутъ корпёсли образовывать изъ себя группы, которыя находятся въ равновѣсіи. Такъ какъ всѣ корпёсли наэлектризованы отрицательно, то онѣ взаимно отталкиваются, и, слѣдовательно, если нѣтъ какой-либо силы, стремящейся сдерживать ихъ, то не могутъ существовать устойчивыя группы, въ которыхъ корпёсли находятся на конечныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга. Въ виду того, что атомы элементовъ въ нормальномъ состояніи—электрически нейтральны, отрицательное электричество, содержащееся въ корпёсляхъ, должно быть компенсировано эквивалентнымъ количествомъ положительнаго электричества; атомы, слѣдовательно, вмѣстѣ

---

1) *J. J. Thomson.* The Corpuscular Theory of Matter. Chapter VI.

съ корпёслями должны заключать въ себѣ положительное электричество. Въ какой формѣ это положительное электричество находится въ атомѣ, объ этомъ у насъ въ настоящее время еще очень мало свѣдѣній. До сихъ поръ еще не найдено тѣло, наэлектризованное положительно и имѣющее массу, меньшую массы атома водорода. Всѣ положительно наэлектризованныя системы въ разрѣженныхъ газахъ, повидимому, представляютъ изъ себя атомы, которые — будучи нейтральными въ своемъ нормальномъ состояніи—пріобрѣли положительное электричество вслѣдствіе того, что потеряли корпёсль. За отсутствіемъ точныхъ свѣдѣній о томъ, какимъ образомъ распредѣлено положительное электричество въ атомѣ, мы разсмотримъ тотъ случай распредѣленія его который лучше всего поддается математической обработкѣ, т. е. мы предположимъ, что положительное электричество въ атомѣ представляетъ однородную по плотности сферу, внутри и на которой распредѣлены корпёсли. Положительное электричество притягиваетъ корпёсли къ центру сферы, а взаимное отталкиваніе стремится удалить ихъ прочь отъ него; когда корпёсли въ равновѣсіи, распредѣленіе ихъ должно быть таково, что притяженіе каждой корпёсли положительнымъ электричествомъ уравновѣшено отталкиваніемъ, испытываемымъ ею отъ всѣхъ другихъ корпёслей.

Разсмотримъ теперь вопросъ, какъ расположатся 1, 2 3, . . . n корпёслей, если ихъ помѣстить въ сферу, наполненную положительнымъ электричествомъ однородной плотности, причемъ сумма отрицательныхъ зарядовъ всѣхъ корпёслей равна положительному заряду сферы.

Когда имѣется только одна корпёсль, рѣшеніе очень простое: корпёсль, очевидно, перейдетъ въ центръ сферы. Потенціальная энергія, соотвѣтствующая различнымъ группировкамъ, является очень важной величиной въ теоріи этого вопроса. Обозначимъ черезъ Q количество

работы, которое необходимо, чтобы удалить всѣ имѣющіяся въ сферѣ порціи электричества на безконечное разстояніе другъ отъ друга; такъ, въ случаѣ одной корпёсли, мы должны произвести работу, чтобы вынести корпёсль на поверхность сферы и затѣмъ удалить ее на безконечно большое разстояніе отъ сферы; послѣ этого у насъ остается шаръ съ положительнымъ электричествомъ, и различныя части этого электричества будутъ отталкивать другъ друга; если мы дадимъ этимъ частямъ удалиться другъ отъ друга на безконечное разстояніе, то мы пріобрѣтемъ работу. Разность между работою, совершенною на удаленіе отрицательнаго заряда отъ положительнаго, и работою, произведенною положительнымъ зарядомъ при своемъ разсѣяніи, равняется Q, т.-е. количеству работы, необходимому, чтобы вполнѣ разъединить другъ отъ друга всѣ электрическіе заряды, находящіеся въ сферѣ. Если имѣется только одна корпёсль, то нетрудно показать, что $Q=\frac{9}{10}\frac{e^2}{a}$, гдѣ e—зарядъ корпёсли въ электростатическихъ единицахъ и a радіусъ сферы.

Если внутри сферы положительнаго электричества находятся двѣ корпёсли, то онѣ въ состояніи равновѣсія должны быть расположены въ точкахъ A и B, лежащихъ на одной прямой, проходящей черезъ центръ сферы O, на разстояніяхъ $OA=OB=\frac{a}{2}$ отъ него (a—радіусъ сферы). Легко показать, что въ этомъ положеніи отталкиваніе между A и B какъ разъ уравновѣшивается притяженіемъ положительнаго электричества, и, слѣдовательно, равновѣсіе устойчиво. Какъ видно, разстояніе AB между корпёслями равно радіусу положительно наэлектризованной сферы. Въ этомъ случаѣ можно показать, что $Q=\frac{21}{10}\frac{e^2}{a}$.

Такимъ образомъ, если радіусъ сферы положительной электризаціи остается постояннымъ, то Q для системы,

содержащей двѣ корпёсли въ одной сферѣ, больше, чѣмъ для комбинаціи, при которой каждая корпёсль помѣщается въ своей собственной сферѣ положительной электризаціи: въ самомъ дѣлѣ, въ послѣднемъ случаѣ, какъ мы видѣли, $Q = 2 \times \frac{9}{10} \frac{e^2}{a}$, а это меньше, чѣмъ $\frac{21}{10} \frac{e^2}{a}$. Слѣдовательно, комбинація съ двумя корпёслями внутри одной сферы болѣе устойчива, чѣмъ та, при которой имѣются двѣ сферы съ одной корпёслью въ каждой; и вообще, если у насъ имѣется нѣсколько отдѣльныхъ корпёслей, каждая въ своей собственной сферѣ, то такая система будетъ менѣе устойчива, чѣмъ соединеніе корпёслей въ группы такъ, что образуются системы, содержащія по нѣсколько корпёслей въ сферѣ. Поэтому системѣ, состоящей изъ большого числа отдѣльныхъ корпёслей, присуще стремленіе къ образованію болѣе сложныхъ системъ. Этотъ результатъ является слѣдствіемъ предположенія, что размѣры сферы положительнаго электричества для системы, содержащей двѣ корпёсли, тѣ же, что и для системы, содержащей только одну корпёсль. Если бы мы предположили, что при соединеніи двухъ системъ объемъ сферы положительнаго электричества для такой сложной системы равнялся бы суммѣ объемовъ сферъ отдѣльныхъ системъ, то радіусъ a для сложной системы былъ-бы въ $\sqrt[3]{2}$ или въ 1,25 раза больше, чѣмъ для единичной системы. Принявъ это въ разсчетъ, мы найдемъ, что Q для сложной системы меньше суммы значеній Q для отдѣльныхъ системъ; въ этомъ случаѣ система, содержащая двѣ корпёсли, не будетъ такъ устойчива, какъ двѣ системы, содержащія по одной корпёсли, такъ что теперь будетъ господствовать стремленіе скорѣе къ диссоціаціи, чѣмъ къ соединенію.

Три корпёсли внутри одной сферы будутъ въ устойчивомъ равновѣсіи, если онѣ расположены по верши-

намъ равносторонняго треугольника, центръ котораго совпадаетъ съ центромъ сферы, и стороны котораго равны радіусу ея; такимъ образомъ для трехъ корпёслей такъ же, какъ и для двухъ, положеніе равновѣсія опредѣляется тѣмъ условіемъ, что разстояніе между двумя корпёслями должно быть равно радіусу сферы положительной электризаціи.

Для случая трехъ корпёслей $Q = \frac{36}{10}\frac{e^2}{a}$, и такимъ образомъ мы опять видимъ, что, если радіусъ сферы положительнаго электричества остается неизмѣннымъ, комбинація съ тремя корпёслями въ одной сферѣ болѣе устойчива, чѣмъ три отдѣльныя корпёсли, каждая въ своей сферѣ, или чѣмъ система изъ одной корпёсли въ одной сферѣ и двухъ корпёслей въ другой; такимъ образомъ и здѣсь обнаруживается стремленіе къ соединенію. Если же положительное электричество, вмѣсто того, чтобы занимать постоянный объемъ, сохраняло бы неизмѣнной свою плотность, мы должны были бы придти къ заключенію, что сложныя системы будутъ стремиться къ распаденію на болѣе простыя.

Четыре корпёсли, находясь въ одной плоскости, не могутъ быть въ равновѣсіи, если остаются неподвижными, но размѣщеніе ихъ въ одной плоскости возможно и можетъ быть устойчиво, если всѣ онѣ будутъ быстро вращаться. При отсутствіи вращенія четыре корпёсли, чтобы быть въ устойчивомъ равновѣсіи, должны быть расположены на вершинахъ правильнаго тетраэдра, центръ котораго совпадаетъ съ центромъ сферы положительной электризаціи и ребра котораго равны радіусу ея; итакъ, мы опять получили, что взаимное разстояніе между корпёслями равно радіусу положительной сферы.

Для четырехъ корпёслей $Q = \frac{e^2}{a} \cdot \frac{54}{10}$. Мы видимъ, что, при условіи неизмѣнности радіуса положительной сферы, значенія Q, приходящіяся на одну корпёсль,

для системъ съ 1, 2, 3, 4 корпёслями относятся другъ къ другу, какъ числа 6 : 7 : 8 : 9.

Шесть корпёслей будутъ въ устойчивомъ равновѣсіи, если находятся на вершинахъ правильнаго октаэдра, а равновѣсіе восьми корпёслей, расположенныхъ на вершинахъ куба, какъ можно доказать, будетъ неустойчивое. Общая задача — найти, какъ размѣстятся сами внутри сферы n частицъ — очень сложна, и мнѣ не удалось рѣшить ее; но мы можемъ рѣшить частную задачу, а именно, когда расположеніе корпёслей ограничено плоскостью, проходящей черезъ центръ сферы, и на основаніи полученныхъ изъ этого рѣшенія результатовъ можно будетъ вывести нѣкоторыя заключенія о свойствахъ болѣе общаго распредѣленія. Аналитическое рѣшеніе задачи для случая, когда движеніе корпёслей можетъ происходить только въ одной плоскости, дано мною въ статьѣ, напечатанной въ журналѣ „Philosophical Magazine“ [1]); желающихъ познакомиться съ аналитическимъ рѣшеніемъ вопроса мы отсылаемъ къ этой работѣ, здѣсь же мы приведемъ только результаты.

Если у насъ имѣется n корпёслей, расположенныхъ въ вершинахъ правильнаго многоугольника съ n сторонами, причемъ центръ этого многоугольника лежитъ въ центрѣ сферы положительной электризаціи, и всѣ корпёсли находятся на одинаковыхъ разстояніяхъ r отъ центра этой сферы, то мы можемъ найти такое значеніе для r, что отталкиваніе, производимое на одну корпёсль всѣми прочими n—1 корпёслями, будетъ равно притяженію, испытываемому этою корпёслью со стороны сферы положительнаго электричества; тогда кольцо корпёслей будетъ въ равновѣсіи. Но въ приведенной работѣ показано, что, если n больше 5, равновѣсіе неустойчиво, и такія группировки не могутъ существовать; такимъ

---

[1]) J. J. Thomson. Phil. Mag. (6) 7 p. 237 (1904).

образомъ 5 есть наибольшее число корпёслей, которыя могутъ быть въ равновѣсіи, образуя собою одно кольцо. Доказано однако, что кольцо, содержащее больше 5 корпёслей, *можетъ* быть въ равновѣсіи, если внутри кольца имѣются еще другія корпёсли. Такимъ образомъ кольцо изъ шести корпёслей, расположенныхъ въ вершинахъ правильнаго шестиугольника, неустойчивое само по себѣ, дѣлается устойчивымъ, если присутствуетъ еще одна корпёсль, находящаяся въ центрѣ шестиугольника; такимъ же образомъ кольца изъ семи и восьми корпёслей дѣлаются устойчивыми, если помѣстить по одной корпёсли внутри ихъ. Чтобы сдѣлать устойчивымъ кольцо изъ девяти корпёслей, мы уже должны имѣть внутри его двѣ корпёсли, и число корпёслей, необходимое внутри кольца, чтобы сдѣлать его устойчивымъ, очень быстро растетъ съ числомъ корпёслей въ кольцѣ. Это видно изъ слѣдующей таблицы, гдѣ n представляетъ число корпёслей въ кольцѣ, а i число корпёслей, которыя должны быть помѣщены внутри кольца, чтобы удержать его въ устойчивомъ равновѣсіи:

n.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	12.	13.	15.	20.	30.	40.
i.	0.	1.	1.	1.	2.	3.	8.	10.	15.	39.	101.	232.

Когда n велико, i пропорціонально n^3. Такимъ образомъ мы видимъ, что въ случаѣ, когда расположеніе корпёслей ограничено одною плоскостью, онѣ размѣстятся сами въ рядъ концентрическихъ колецъ. Когда опредѣлена связь между n и i, т. е. найденъ видъ функціи $i=f(n)$, задача нахожденія конфигураціи N корпёслей въ состояніи устойчиваго равновѣсія допускаетъ очень простое рѣшеніе. Наибольшее возможное число корпёслей въ каждомъ кольцѣ (при одномъ и томъ же общемъ числѣ ихъ. (Прим. пер.) будетъ при наименьшемъ возможномъ числѣ колецъ.

Если во внѣшнемъ кольцѣ n_1 корпёслей, то внутри его ихъ будетъ $N-n_1$, и если столькихъ корпёслей

какъ разъ достаточно, чтобы поддерживать устойчивое равновѣсіе внѣшняго кольца, то $N - n_1 = f(n_1)$; рѣшеніе этого уравненія дастъ намъ n_1. Для нахожденія n_2— числа корпёслей въ слѣдующемъ кольцѣ—мы, очевидно, имѣемъ уравненіе:

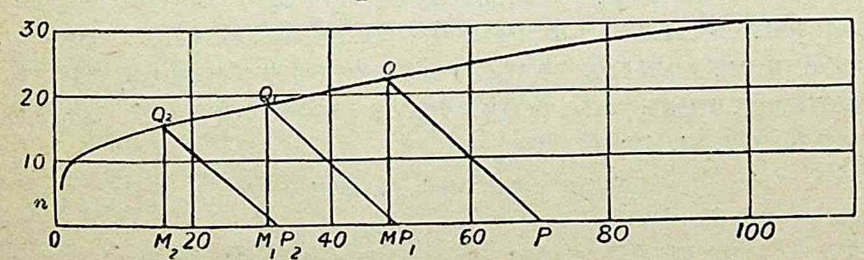
$$N - n_1 - n_2 = f(n_2),$$

а n_3—число корпёслей въ третьемъ кольцѣ—опредѣляется слѣдующимъ уравненіемъ:

$$N - n_1 - n_2 - n_3 = f(n_3)$$

и такъ далѣе.

Эти уравненія можно рѣшать очень быстро слѣдующимъ графическимъ методомъ. Начертимъ кривую, абсциссами для которой служатъ значенія $f(n)$, а ординатами соотвѣтствующія значенія n; значенія $f(n)$ для нѣкотораго ряда значеній n приведены выше; на основаніи этихъ данныхъ и построена напечатанная здѣсь кривая.



Чтобы найти, какъ расположится нѣкоторое число корпёслей N, откладываемъ по оси абсциссъ отъ точки O разстояніе, равное N. Пусть, напримѣръ, такимъ отрѣзкомъ будетъ OP; изъ точки P проводимъ подъ угломъ въ 135° къ оси абсциссъ прямую, пересѣкающую кривую въ точкѣ Q, и чертимъ ординату QM; цѣлая часть отрѣзка QM представляетъ значеніе n_1— числа корпеслей во внѣшнемъ кольцѣ, ибо очевидно:

$$OM = f(QM)$$

и $OM = OP - PM$, а такъ какъ PQ составляетъ съ осью уголъ въ 45°, то $QM = PM$ и, слѣдовательно:

$$OP - QM = f(QM).$$

Сравнивая это съ уравненіемъ $N-n_1=f(n_1)$, мы видимъ, что цѣлая часть отрѣзка QM равна n_1.

Чтобы получить значеніе n_2, числа корпёслей во второмъ кольцѣ, мы откладываемъ на оси абсциссъ $OP_1=N-n_1$; если длина QM число цѣлое, P_1 совпадаетъ съ M; изъ P_1 проводимъ P_1Q_1 параллельно PQ до пересѣченія съ кривою въ точкѣ Q_1; если Q_1M_1 представляетъ ординату точки Q_1, то цѣлая часть длины Q_1M_1 дастъ значеніе n_2. Чтобы получить n_2, откладываемъ $OP_2=N-n_1-n_2$ и чертимъ $P_2\,Q_2$ параллельно PQ; цѣлая часть $Q_2\,M_2$ будетъ значеніемъ n_3. Такимъ путемъ мы можемъ въ самое короткое время найти число корпёслей въ различныхъ кольцахъ.

Слѣдующая таблица, дающая число корпёслей въ различныхъ кольцахъ для общаго числа корпёслей отъ 1 до 100, вычислена этимъ способомъ; первая строка содержитъ число корпёслей, располагающихся только въ одномъ кольцѣ; далѣе слѣдуютъ комбинаціи строкъ, заключающихъ въ себѣ числа корпёслей въ двухъ, трехъ и т. д. кольцахъ.

Числа корпёслей въ кольцахъ.

1	2	3	4	5

5	6	7	8	8	8	9	10	10	10	11
1	1	1	1	2	3	3	3	4	5	5

11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	14	14	15	15
5	6	7	7	8	8	8	8	9	10	10	10	10	10	11
1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	4	4	5	5	5

15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17
11	11	11	11	12	12	12	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15
5	6	7	7	7	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	11
1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5

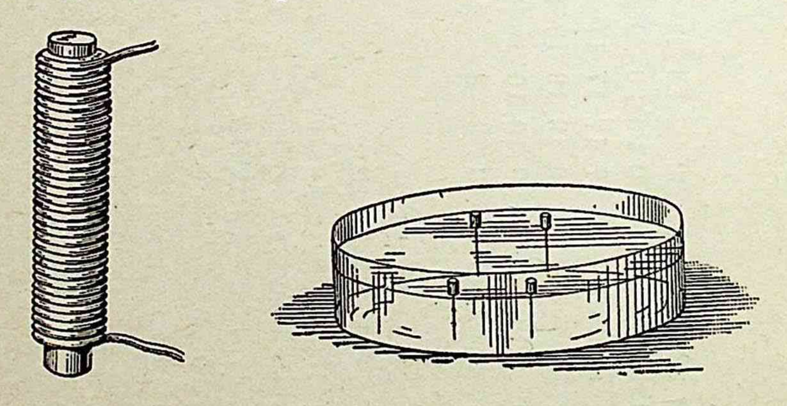
17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21
15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17
11	11	11	11	11	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15	15
5	5	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	11
1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5

Числа корпёслей въ кольцахъ.—Продолженіе.

21	21	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23	23	24
17	18	18	18	18	18	19	19	19	19	19	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	21	21	21
15	15	15	15	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16	17	17	17	17	17	17	17	17	17	17
11	11	11	11	11	12	12	12	12	12	13	13	13	13	13	13	13	13	14	14	15	15	15	15
5	5	6	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	9	9	10	10	10	10	10	10	10	11	11
1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	5

24	24	24	24	24	24	24
21	21	21	21	21	21	21
17	18	18	18	18	18	19
15	15	15	15	16	16	16
11	11	11	11	11	12	12
5	5	6	7	7	7	7
1	1	1	1	1	1	1

Равновѣсіе корпёслей въ одной плоскости можно изучать не только аналитически, но столь же хорошо и путемъ опыта, пользуясь методомъ, предложеннымъ для другой цѣли американскимъ физикомъ, профессоромъ Майеромъ (Mayer). Задача о размѣщеніи корпёслей состоитъ въ томъ, чтобы найти, какъ нѣсколько тѣлъ, отталкивающихъ другъ друга съ силами, обратно пропорціональными квадрату разстояній, расположатся подъ дѣйствіемъ притягивающей силы, стремящейся



передвинуть ихъ въ опредѣленную точку. Въ экспериментальномъ методѣ корпёсли замѣнены намагниченными иглами, воткнутыми въ плавающіе на водѣ пробковые кружки. Слѣдуетъ обращать вниманіе на то, чтобы всѣ иглы были намагничены одинаково сильно. Эти иглы, одноименные полюсы которыхъ всѣ обращены въ одну и ту же сторону, отталкиваютъ другъ друга такъ же, какъ корпёсли. Притяженіе производитъ большой магнитъ, помѣщенный надъ поверхностью воды такъ, чтобы нижній полюсъ его былъ противоположенъ по знаку верхнимъ полюсамъ плавающихъ магнитиковъ. Слагающая силы притяженія этого магнита по поверхности воды направлена къ точкѣ поверхности, находящейся вертикально подъ полюсомъ магнита, и приблизительно пропорціонально разстоянію отъ этой точки.

Такимъ образомъ силы, дѣйствующія на магнитики, аналогичны силамъ, дѣйствующимъ на корпёсли.

Если мы станемъ бросать иглу за иглой въ воду, мы найдемъ, что онѣ сами составятъ опредѣленныя фигуры: три иглы расположатся по вершинамъ треугольника, четыре по вершинамъ квадрата, пять по вершинамъ пятиугольника; но если прибавить шестую иглу, то эта послѣдовательность обрывается: шесть иглъ уже не расположатся по угламъ шестиугольника, пять станутъ по вершинамъ пятиугольника, а шестая въ центрѣ. Если мы бросимъ въ воду седьмую иглу, мы получимъ кольцо изъ шести съ одной въ серединѣ; такимъ образомъ кольцо изъ шести иглъ, неустойчивое пока оно пустое внутри, дѣлается устойчивымъ, какъ только попадаетъ въ середину его седьмая игла. Этотъ примѣръ иллюстрируетъ основной принципъ устойчивости конфигурацій корпёслей: строеніе должно быть прочнымъ; мы не можемъ имѣть большое скопленіе корпёслей. Но если у насъ есть хорошій фундаментъ изъ корпёслей, если, напримѣръ, мы соединимъ внутри значительное число иголокъ, то мы можемъ получить вокругъ нихъ кольцо, содержащее большое число корпёслей въ устойчивомъ равновѣсіи. Самое же большое число корпёслей, которыя могутъ удержаться въ равновѣсіи въ поломъ кольцѣ, всего только пять. При помощи этихъ плавающихъ магнитиковъ мы можемъ наглядно показать конфигураціи для значительнаго числа корпёслей и провѣрить данную выше таблицу.

Другой методъ, которымъ мы обязаны профессору Р. В. Вуду (R W. Wood), состоитъ въ томъ, что плавающіе на водѣ магниты замѣняются шариками, плавающими на ртути; эти шарики намагничиваются по индукціи отъ большого магнита, помѣщеннаго надъ ними, и отталкиваютъ другъ друга, но въ этомъ случаѣ сила отталкиванія не мѣняется обратно пропор-

ціонально квадрату разстоянія; въ то же самое время они всѣ притягиваются внѣшнимъ магнитомъ; желѣзные шарики располагаются въ фигуры, аналогичныя тѣмъ, которыя образуютъ магнитики. Д-ръ Монкмэнъ (Monckmann) пользуется, вмѣсто магнитовъ, удлиненными проводниками, плавающими въ вертикальномъ положеніи въ водѣ; въ этихъ проводникахъ наэлектризованнымъ тѣломъ, помѣщеннымъ надъ поверхностью воды, индуктируется электричество; проводники, наэлектризованные одноименно, отталкиваютъ другъ друга и притягиваются къ заряженному тѣлу; подъ вліяніемъ этихъ силъ они образуютъ подобныя же фигуры, какъ плавающіе магниты.

Эти наглядные опыты не хуже аналитическаго изслѣдованія доказываютъ, что нѣкоторое число корпёслей, принужденное оставаться въ одной плоскости, располагается въ рядъ колецъ, причемъ число корпёслей въ каждомъ кольцѣ возрастаетъ съ радіусомъ этого кольца.

Вернемся къ разсмотрѣнію группировокъ корпёслей при различномъ числѣ ихъ, данныхъ приведенной выше таблицѣ; изъ этой таблицы видно, что различныя группировки, приходящіяся въ одномъ вертикальномъ столбцѣ, имѣютъ между собою много общаго, такъ какъ каждый рядъ группировокъ получается прибавленіемъ къ ряду, стоящему выше, сверху новой строки. Такъ, напримѣръ, въ первомъ столбцѣ мы имѣемъ комбинацію 5, 1, а въ стоящемъ подъ этимъ рядѣ группировокъ въ первомъ столбцѣ находимъ: 11, 5, 1; рядомъ ниже—15, 11, 5, 1; еще ниже—17, 15, 11, 5, 1; далѣе—21, 17, 15, 11, 5, 1 и затѣмъ 24, 21, 17, 15, 11, 5, 1. Можно ожидать, что свойства атомовъ, образованныхъ такими группами корпёслей, будутъ имѣть много сходныхъ чертъ. Возьмемъ, напримѣръ, колебанія корпёслей; эти колебанія можно раздѣлить на два рода. Во-пер-

выхъ, колебанія, происходящія отъ движенія корпёслей по ихъ орбитамъ. Если всѣ корпёсли въ атомѣ имѣютъ одну и ту же угловую скорость, число колебаній, произведенныхъ вращеніемъ кольца корпёслей, пропорціонально числу корпёслей въ кольцѣ; такимъ образомъ въ спектрахъ всѣхъ элементовъ, соотвѣтствующихъ группировкамъ корпёслей, находящихся въ одномъ и томъ же вертикальномъ столбцѣ таблицы, будутъ серіи линій, которымъ соотвѣтствующія числа колебаній будутъ находиться въ постоянномъ отношеніи другъ къ другу, и это отношеніе будетъ равно отношенію чиселъ корпёслей въ различныхъ кольцахъ.

Колебанія второго рода вызываются нарушеніями круговой формы колецъ. Если разстояніе корпёсли отъ ближайшаго члена ея собственнаго кольца мало по сравненію съ ея разстояніемъ отъ ближайшей корпёсли другого кольца, то наружное кольцо будетъ дѣйствовать только возмущающимъ образомъ на колебанія даннаго кольца, не нарушая его основного характера. Итакъ, мы должны ожидать, что различные элементы, лежащіе въ одномъ вертикальномъ столбцѣ, дадутъ соотвѣтствующія группы связанныхъ другъ съ другомъ линій. Мы можемъ вообще ожидать, что различные элементы, соотвѣтствующіе группировкамъ корпёслей, содержащимся въ однихъ и тѣхъ же вертикальныхъ столбцахъ, будутъ имѣть много общихъ свойствъ какъ физическихъ, такъ и химическихъ. Если предположить, что атомный вѣсъ элемента пропорціоналенъ числу корпёслей, содержащихся въ его атомѣ (существуютъ доводы въ пользу этого взгляда), то можно считать сходство свойствъ нашихъ группировокъ корпёслей, лежащихъ въ одномъ и томъ же столбцѣ, подобныхъ тому замѣчательнѣйшему свойству химическихъ элементовъ, которое выражено закономъ періодичности. Мы знаемъ, что, если мы, расположивъ всѣ элементы

въ порядкѣ ихъ атомныхъ вѣсовъ, будемъ въ этой послѣдовательности разсматривать ихъ свойства и, дойдя до нѣкотораго элемента — скажемъ литія — съ опредѣленнымъ свойствомъ, пойдемъ дальше, то мы черезъ извѣстное число элементовъ, не похожихъ на литій, встрѣтимъ другой — натрій, имѣющій много общихъ свойствъ съ литіемъ; идя затѣмъ дальше, мы нѣкоторое время не встрѣтимъ этихъ свойствъ, но потомъ, когда дойдемъ до калія, опять натолкнемся на нихъ и т. д.

Мы находимъ здѣсь какъ разъ то же повтореніе свойствъ черезъ опредѣленные промежутки, какіе мы должны получить, если атомы содержатъ корпёсли въ числѣ пропорціональномъ ихъ атомнымъ вѣсамъ. Разсмотримъ рядъ атомовъ, въ которомъ p-ый членъ образованъ изъ (p—1)-го съ прибавленіемъ одного только кольца, т. е. является, такъ сказать, соединеніемъ (p—1)-го атома съ новымъ кольцомъ. Такой рядъ соотвѣтствовалъ-бы одной изъ группъ періодической системы и представлялъ бы одинъ изъ вертикальныхъ столбовъ Менделѣевской таблицы.

Свойства этихъ конфигурацій корпёслей имѣютъ еще много общаго со свойствами реальныхъ атомовъ. Чтобы наглядно показать это, разсмотримъ свойства всѣхъ конфигурацій корпёслей, у которыхъ 20 корпёслей во внѣшнемъ кольцѣ. Наименьшее число корпёслей, имѣющихъ внѣшнее кольцо въ 20 корпёслей, есть 59; въ этомъ случаѣ число корпёслей внутри кольца едва только достаточно, чтобы сдѣлать внѣшнее кольцо устойчивымъ; это кольцо, поэтому, находится на границѣ неустойчивости, и, если корпёсли въ кольцѣ смѣщены, возстанавливающія силы, заставляющія ихъ вернуться въ ихъ первоначальное положеніе, малы. Такимъ образомъ, если это кольцо подвергается возмущеніямъ со стороны внѣшней причины, отъ него легко

отдѣляется одна корпёсль, и группа, потерявъ отрицательно заряженную частицу, пріобрѣтаетъ положительный зарядъ; группа такимъ образомъ похожа на атомъ сильно электроположительнаго элемента. Перейдя отъ группы въ 59 корпёслей къ группѣ въ 60 корпёслей, мы замѣчаемъ, что внѣшнее кольцо болѣе прочно, такъ какъ внутри его больше корпёслей; соотвѣтствующій атомъ, слѣдовательно, не такъ сильно электроположителенъ, какъ содержащій только 59 корпёслей. Прибавленіе каждой слѣдующей корпёсли дѣлаетъ все труднѣе и труднѣе отдѣленіе корпёсли отъ внѣшняго кольца и дѣлаетъ, поэтому, соотвѣтствующій атомъ менѣе электроположительнымъ. Увеличеніе прочности внѣшняго кольца и, слѣдовательно, электроотрицательнаго характера соотвѣтствующаго атома продолжается до тѣхъ поръ, когда въ группѣ имѣется 67 корпёслей, тогда прочность внѣшняго кольца максимальная. Когда число корпёслей возрастаетъ съ 67 до 68, въ свойствахъ группы происходитъ рѣзкая перемѣна, такъ какъ при 68 корпёсляхъ число ихъ во внѣшнемъ кольцѣ — 21; а эти 21 корпёсли только едва устойчивы и такъ же, какъ внѣшнее кольцо въ 20 корпёслей въ группѣ изъ 59, легко могутъ потерять одну корпёсль. Атомъ, соотвѣтствующій этой комбинаціи, является поэтому сильно электроположительнымъ.

Свойства группъ изъ 59 и 67 корпёслей, находящихся одна въ началѣ, другая въ концѣ ряда группъ, имѣющихъ по 20 корпёслей во внѣшнемъ кольцѣ, заслуживаютъ особаго разсмотрѣнія. Комбинація въ 59 корпёслей, близкая къ границѣ неустойчивости, и потому въ сильной степени подверженная потерѣ отрицательной корпёсли, хотя и пріобрѣтаетъ такимъ образомъ положительный зарядъ, но не способна удержать его, ибо, когда она потеряла корпёсль, остальныя 58 корпёсли расположатся въ группу, соотвѣтствующую

58 корпёслямъ и являющуюся послѣдней изъ имѣющихъ внѣшнее кольцо въ 19 корпёслей; это кольцо, поэтому, въ высшей степени прочно, такъ что отъ него уже не могутъ отдѣлиться еще корпёсли; но въ то же время положительный зарядъ системы, образовавшійся вслѣдствіе отдѣленія 59-ой корпёсли, будетъ притягивать корпёсли изъ окружающаго пространства. Благодаря этому, наша система не можетъ сохранить надолго свой положительный зарядъ, потому что, какъ только отдѣлится корпёсль, ее сейчасъ замѣнитъ другая. Если же къ группѣ въ 59 корпёслей прибавить корпёсли извнѣ, то каждая новая корпёсль увеличитъ устойчивость системы, пока общее число ихъ не достигнетъ 67; размѣщеніе, соотвѣтствующее 68 корпёслямъ, будетъ уже очень неустойчиво, такъ что при достиженіи этого числа система станетъ терять корпёсли, Такимъ образомъ въ группу изъ 59 корпёслей можно ввести отрицательный зарядъ въ 8 единицъ; эта группа. поэтому, соотвѣтствуетъ атому съ нулевою валентностью для положительнаго заряда и съ 8-ричною для отрицательнаго.

Разсмотримъ теперь свойства группы въ 67 корпёслей. Внѣшнее кольцо ея очень устойчиво, но если прибавить къ группѣ еще одну корпёсль, то получившаяся группа въ 68 корпёслей расположится такъ, что во внѣшнемъ кольцѣ будетъ 21 корпёсль, ибо 68 есть наименьшее число корпёслей, имѣющихъ внѣшнее кольцо въ 21; кольцо это—очень неустойчиво и легко теряетъ пріобрѣтенную только что корпёсль; такимъ образомъ эта комбинація не можетъ оставаться постоянно заряженной отрицательно—она дѣйствуетъ, какъ атомъ элемента, не обладающаго электроотрицательною валентностью. Съ другой стороны группа останется устойчивой, если отъ нея отнять одну, двѣ, три и т. д. до восьми корпёслей включительно; это отрываніе кор-

пёслей, вслѣдствіе того, что онѣ очень крѣпко держатся въ группѣ, конечно, трудно; такъ какъ при отдѣленіи каждой корпёсли въ группѣ получается соотвѣтствующій положительный зарядъ, то работа, необходимая для отнятія корпёслей, для каждой послѣдующей будетъ больше, чѣмъ для предыдущей. Это увеличеніе въ нѣкоторой степени компенсируется уменьшеніемъ устойчивости группировокъ въ 66, 65, 64, ... 59 корпёслей; но послѣ того, какъ мы достигли 59, мы должны будемъ преодолѣть не только положительный зарядъ, но также большую неустойчивость группы въ 58 корпёслей; такимъ образомъ 8—самое большое число корпёслей, которое мы можемъ надѣяться отнять отъ нашей группы; атомъ, представленный этой группой, будетъ имѣть такимъ образомъ электроположительную валентность, равную 8; а его электроотрицательная валентность есть нуль.

Разсмотримъ теперь группу, содержащую 60 корпёслей. Эта группа — самая электроположительная изъ всего ряда, однако, она можетъ удержать постоянно положительный зарядъ всего въ одну единицу, который получится, если удалить одну корпёсль; ибо, если она потеряетъ двѣ корпёсли, получится группа въ 58 корпёслей, такая же, какая получилась при удаленіи одной корпёсли изъ группы въ 59; но въ данномъ случаѣ группа будетъ сильнѣе стремиться привлечь корпёсль, чѣмъ когда мы исходили отъ группы въ 59, такъ какъ она имѣетъ зарядъ въ двѣ положительныя единицы, вмѣсто одной. Такимъ образомъ атомъ, представительницей котораго является группа въ 60 корпёслей, будетъ имѣть электроположительную валентность, равную единицѣ. Если мы заставимъ присоединиться къ группѣ новыя корпёсли такъ, что число ихъ увеличится до 61, 62, 63 . . . 67—комбинація сдѣлается все болѣе и болѣе устойчивой; если же мы

дойдемъ до 68, мы получимъ конфигурацію почти неустойчивую, которая легко будетъ отдавать корпёсли. Такимъ образомъ 7 является наибольшимъ числомъ корпёслей, которое мы можемъ надѣяться присоединить къ нашей группѣ, и атомъ представленный ею, будетъ имѣть электроотрицательную валентность, равную семи. А электроположительная валентность, какъ мы видѣли, равна единицѣ.

Группа въ 66 корпёслей будетъ самой электроотрицательной нашего ряда, но она въ состояніи удержать только единичный отрицательный зарядъ, ибо, если она пріобрѣтетъ двѣ единицы, группа будетъ состоять изъ 68 корпёслей, когда, какъ мы видѣли, быстро теряются корпёсли. Атомъ, соотвѣтствующій группѣ въ 66 корпёслей, будетъ такимъ образомъ, имѣть отрицательную валентность—единицу. Мы видимъ также, что изъ этой группы можно извлечь 7 корпёслей, не нарушая ея прочности; поэтому атомъ, соотвѣтствующій этой группѣ, долженъ имѣть электроположительную валентность, равную семи.

Группа въ 61 корпёсль не такъ легко отдаетъ свои корпёсли, какъ группа въ 60, но зато ее можно заставить отдать двѣ корпёсли, такъ какъ только послѣ потери трехъ корпёслей число корпёслей достигаетъ 58—когда стремленіе къ привлеченію и удержанію корпёсли сразу возрастаетъ такимъ образомъ атомъ, соотвѣтствующій группѣ въ 61 будетъ имѣть электроположительную валентность 2. Тѣмъ же путемъ, какъ раньше, мы убѣдимся, что группа эта можетъ вмѣстить еще 6 новыхъ корпёслей; соотвѣтствующій атомъ долженъ, слѣдовательно, имѣть отрицательную валентность 6. Подобнымъ же образомъ мы находимъ, что группа въ 62 корпёсли соотвѣтствуютъ *электроотрицательному* атому съ отрицательною валентностью равною 3 и положительною—6. Группа 63 представляетъ атомъ

съ положительною валентностью 4 и такою же отрицательной. Итакъ, собравъ наши результаты въ одну таблицу мы будемъ имѣть слѣдующія свойства ряда атомовъ, соотвѣтствующихъ группамъ, содержащимъ отъ 59 до 67 корпёслей:

Число корпёслей . .	59	60	61	62	63	64	65	66	67
Валентность	+0	+1	+2	+3	+4	−3	−2	−1	−0
	−8	−7	−6	−5	−4	+5	+6	+7	+8
	Электроположительный.					Электроотрицательный.			

Эта послѣдовательность свойствъ очень похожа на послѣдовательность, которая замѣчается у атомовъ элементовъ.

Такъ, мы имѣемъ рядъ элементовъ:

He. Li. Be. B. C. N. O. F. Ne.
Ne. Na. Mg. Ml. Si. P. S. Cl. Arg.

Первый и послѣдній элементъ въ каждомъ изъ этихъ рядовъ не имѣетъ совсѣмъ валентности, второй— одновалентный электроположительный элементъ, предпослѣдній—одновалентный электроотрицательный, третій — двувалентный электроположительный, третій съ конца — двувалентный отрицательный элементъ и т. д.

Въ нашей таблицѣ мы приписали каждому элементу два рода валентностей, смотря по тому, дѣйствуетъ ли онъ какъ электроположительный элементь, или какъ электроотрицательный; замѣтимъ, что сумма этихъ валентностей постоянна и равна 8. Интересно, что Абеггъ (Abegg) [1]) на основаніи чисто химическихъ соображеній показалъ, что валентность одного и того же элемента можетъ быть весьма различной въ зависимости отъ того, является ли онъ электроположительною частью соединенія, или электроотрицательною. Такъ, напримѣръ,

---

[1]) „Zeitschrift für Anorganische Chemie", *39*, p. 330 (1904).
„Zeitschrift für Physikalische Chemie", *43*, p. 385 (1903).

хлоръ, являющійся одновалентнымъ въ такихъ соединеніяхъ, какъ HCl, гдѣ онъ представляетъ электроотрицательную составную часть, имѣетъ гораздо высшую валентность въ соединеніяхъ съ электроотрицательными элементами, какъ, напримѣръ, съ кислородомъ. Іодъ представляетъ другое замѣчательное подтвержденіе этого: онъ одновалентенъ въ соединеніяхъ съ электроположительными элементами, какъ металлы, но имѣетъ гораздо высшую валентность въ соединеніяхъ съ электроотрицательными элементами, напримѣръ, въ соединеніи JCl_5. Взглядъ, что одинъ и тотъ же элементъ можетъ въ однихъ случаяхъ быть положительною, а въ другихъ — отрицательною частью соединенія, недавно былъ подтвержденъ замѣчательными опытами Вальдена.

Сумма положительныхъ и отрицательныхъ валентностей зависитъ отъ числа корпёслей, заключающихся, по предположенію, во внѣшнемъ кольцѣ. Если мы возьмемъ во внѣшнемъ кольцѣ 20 корпёслей, то сумма положительныхъ и отрицательныхъ валентностей равна 8; это совпадаетъ какъ разъ съ числомъ, обыкновенно указываемымъ для этой суммы химиками; но это совпаденіе съ результатами, которые даетъ наша модель атома, конечно, вполнѣ случайное.

Въ этомъ мѣстѣ, можетъ быть, будетъ нелишнимъ еще разъ подчеркнуть, что частный случай размѣщенія корпёслей, когда онѣ, по предположенію, связаны съ одною плоскостью и когда онѣ притягиваются положительнымъ электричествомъ съ силою, пропорціональною ихъ разстоянію отъ опредѣленной точки, былъ выбранъ только по той причинѣ, что онъ легче всѣхъ другихъ поддается математической обработкѣ. Моей задачей было показать, что устойчивыя группировки корпеслей по своимъ свойствамъ будутъ имѣть много общаго съ реальными атомами, и я стремился сдѣлать наглядными эти свойства на частномъ случаѣ—выбран-

номъ исключительно по причинѣ его простоты. Число корпёслей, соотвѣтствующее какому-либо отдѣльному свойству, получилось бы, безъ сомнѣнія, другое, если-бы мы разсматривали распредѣленіе корпёслей не въ пространствѣ двухъ измѣреній, а трехъ, или, если бы мы вмѣсто того, чтобы предположить, что притяженіе, производимое положительнымъ электричествомъ, прямо пропорціонально разстоянію отъ опредѣленной точки, приняли, что плотность электричества въ сферѣ не однородна; въ послѣднемъ случаѣ притяженіе было бы подчинено болѣе сложному закону.

Двойная валентность представляетъ свойство атома, каково бы ни было его строеніе, если, конечно, предположить, что такъ же, какъ въ частномъ случаѣ корпёслей, связанныхъ съ плоскостью, при переходѣ черезъ извѣстныя группы корпёслей наступаютъ рѣзкія перемѣны въ устойчивости; пусть число корпёслей въ въ этихъ критическихъ группахъ будетъ N_1, N_2, N_3.... Работа, необходимая, чтобы прибавить или отнять корпёсль, будетъ несоразмѣрно велика, если измѣненіе числа корпёслей влечетъ за собою переходъ или достиженіе одно изъ этихъ критическихъ чиселъ, эти числа можно, такимъ образомъ, разсматривать, какъ барьеры, черезъ которые трудно пройти. Если атомъ, содержащій N_2+n корпёслей, можетъ терять n корпёслей и присоединять $N_2-(N_2+n)$, не достигая одного изъ этихъ барьеровъ, то онъ имѣетъ максимальную положительную валентность n и максимальную отрицательную $-N_3-(N_2+n)$.

Можно разсматривать этотъ вопросъ также со слѣдующей точки зрѣнія: мы можемъ считать, что стремленіе группы корпёслей выдѣлить одну изъ нихъ есть результатъ дѣйствія корпёскулярнаго давленія въ атомѣ; тогда изложенные результаты можно выразить такъ: когда число корпёслей, увеличиваясь, переходитъ че-

резъ одно изъ чиселъ N_1, N_2, N_3..., напр., черезъ N_1, корпёскулярное давленіе внезапно увеличивается и затѣмъ, съ дальнѣйшимъ увеличеніемъ числа корпёслей, постепенно падаетъ, пока мы не дойдемъ до числа N_2. Такимъ образомъ, къ группѣ корпёслей, промежуточной по числу корпёслей между N_1 и N_2, мы можемъ прибавлять корпёсли, не увеличивая корпёскулярнаго давленія (хотя, разумѣется, мы увеличимъ отталкиваніе между корпёслями вслѣдствіе прибавленія новыхъ корпёслей съ отрицательными зарядами), до тѣхъ поръ, пока общее число корпёслей не достигнетъ N_2; такъ какъ при достиженіи N_2 корпёскулярное давленіе значительно возрастаетъ, то мы только съ большимъ трудомъ сможемъ увеличить число корпёслей до N_2+1. Мы можемъ также отъ взятой нами первоначально группы отнимать корпёсли, не уменьшая корпёскулярнаго давленія—пока число корпёслей не доведено до N_1. Такъ какъ здѣсь корпёскулярное давленіе сразу значительно падаетъ, то трудно извлечь еще одну корпёсль изъ группы. Такимъ образомъ, если число корпёслей въ нашей группѣ $N=N_1+n$, то наибольшее число корпёслей, которое можно извлечь, есть n, т.-е. максимумъ положительной валентности$=n$: наибольшее число корпёслей, которое можно прибавить, будетъ $N_2-(N_1+n)$, и это есть максимумъ отрицательной валентности.

Перев. М. Я. Якобсонъ.




36035